منتدى التعليم الثانوي الجزائري مثقن القل
الاستاذ : بو الريش احمد
http://bacbac.ahlamuntada.com/index.htm

تحضير بكالوريا 2008

http://www.p48.75.fr/bac/forum/index.php

المجال التعلمي 2: التحولات الطاقوية
الوحدة التعلمية 1: آليات تحويل الطاقة الضوئية الى طاقة كمياية كامنة (التركيب الضوئي)

تؤدي النباتات الخضراء وظيفة حيوية هامة تعتبر أهم ضمان لاستمرار الحية، وإن ناتج عملية التركيب الضوئي يتمثل في تركيب جزيئات عضوية مخزنة للطاقة، حيث يقوم النبات الأخضر بتحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائة كامنة تتم وفق تسلسل جملة من التفاعلات الكيموحيوية بآليات دقيقة ومحددة.

◄ فما هو مقر هذه التحولات الطاقوية ؟ وماهي مراحل وآليات هذه التحولات ؟

النشاط1 : تذكير بالمكتسبات
(شروط عملية التركيب الضوئي ومظاهره)

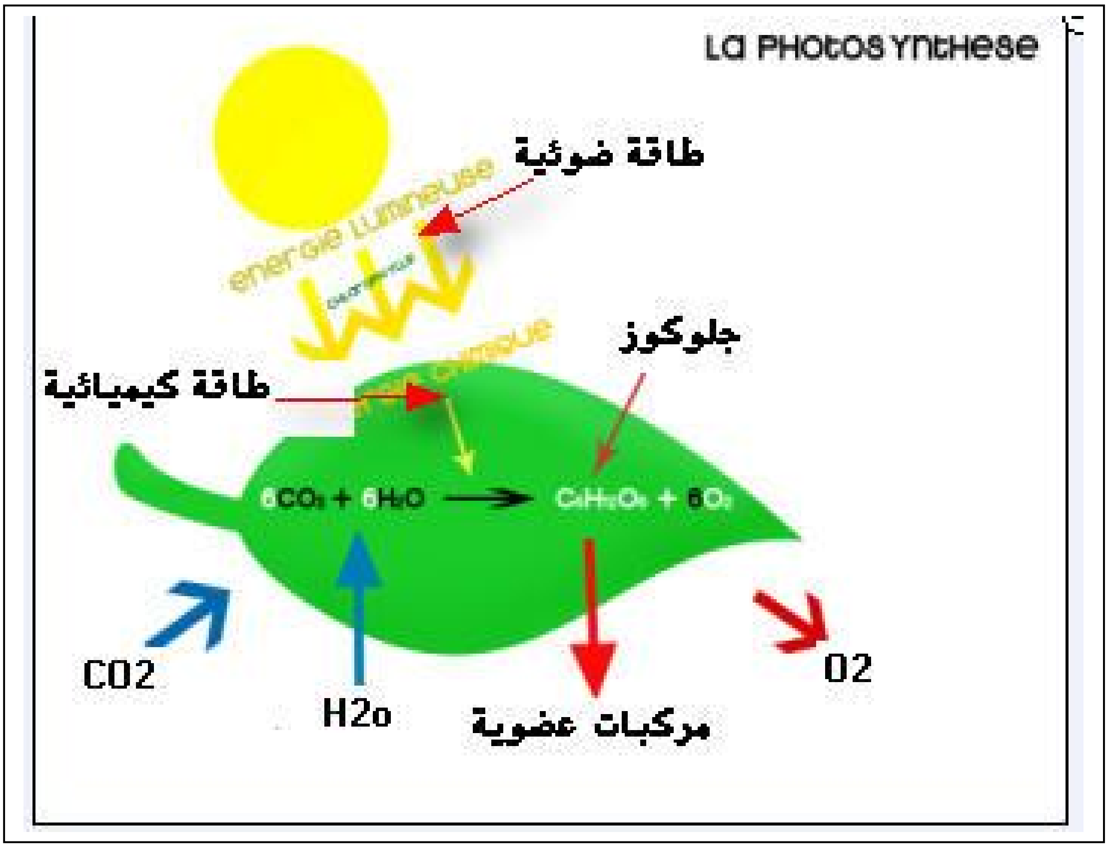
التركيب ظاهرة حيوية يتم خلالها صنع جزيئات عضوية لا تتم هذه الظاهرة إلا بتوفر شروط تسمح بحدوثها.
فما هي شروط عملية التركيب الضوئي ؟



*الضوء ضروري لتركيب النشا في الأوراق المعرضة للإضاءة لاحتواءها على اليخضور (أوراق خضراء)
* مظاهر التركيب الضوئي وهي انطلاق O_2 واستهلاك (امتصاص) CO_2

$$n(CO_2) + n(H_2O) \xrightarrow{\text{ضوء + يخضور + إنزيمات}} \underset{\text{نشا}}{(CH_2O)_n} + n(O_2)$$

$$n(CO_2) + 2n(H_2O) \xrightarrow{\text{ضوء + يخضور + إنزيمات}} \underset{\text{نشا}}{(CH_2O)_n} + n(O_2) + n(H_2O)$$



الخلاصة :

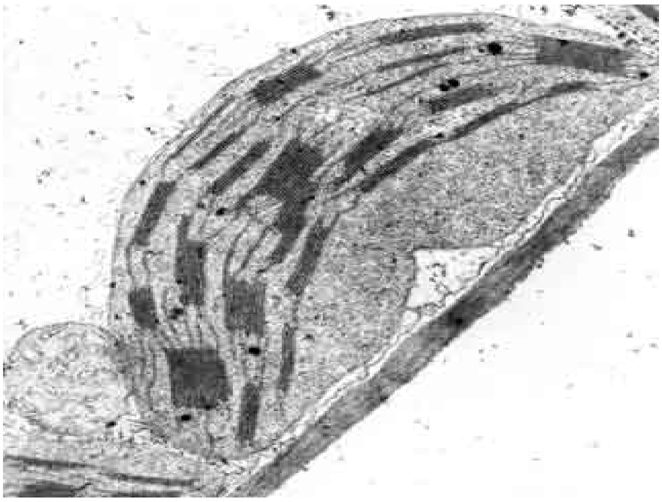
التركيب الضوئي،آلية تؤدي إلى تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية تخزن في شكل جزيئات عضوية،كالنشاء .

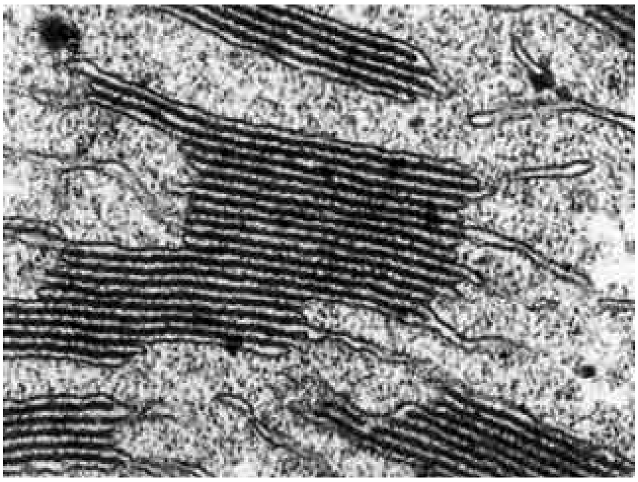
النشاط 2 : مقر عملية التركيب الضوئي : ما فوق البنية الخلوية للصانعة الخضراء

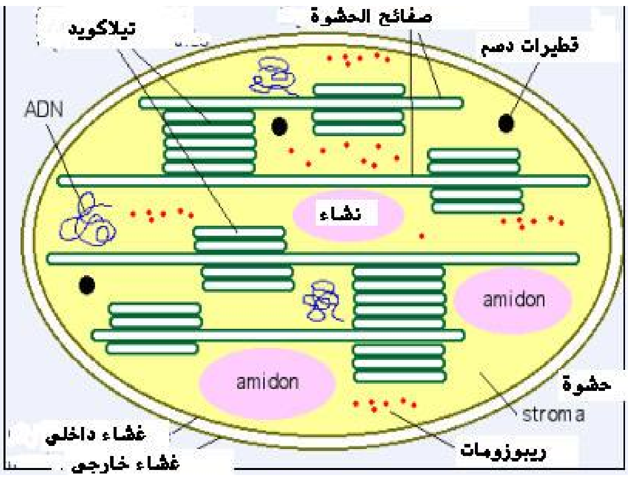
أمكن التوصل في النشاط السابق إلى أن تركيب النشا يتم في الصانعة الخضراء، حيث تحدث جميع التفاعلات الكيموحيوية للتركيب الضوئي.

➢ فكيف تظهر الصانعة بالمجهر الالكتروني ؟ وما تركيبها الكيميائي ؟ وكيف تتوضع مكوناتها ؟

1 - بنية الصانعة الخضراء







* تتم مجموع التفاعلات الكيميائية للتركيب الضوئي داخل الصانعات الخضراء.

* للصانعة الخضراء بنية حجيرية منظمة كالتالي :

- تراكيب غشائية داخلية تشكل أكياس مسطحة: التيلاكوئيد.
- تجويف داخلي : الحشوة ،محددة بغشاء بلاستيدي داخلي .
- يضاعف الغشاء البلاستيدي الداخلي بغشاء خارجي
- .يفصل الغشاءين البلاستيديين فراغ بين غشاءين

2 – التركيب الكيمو حيوي للصانعة الخضراء

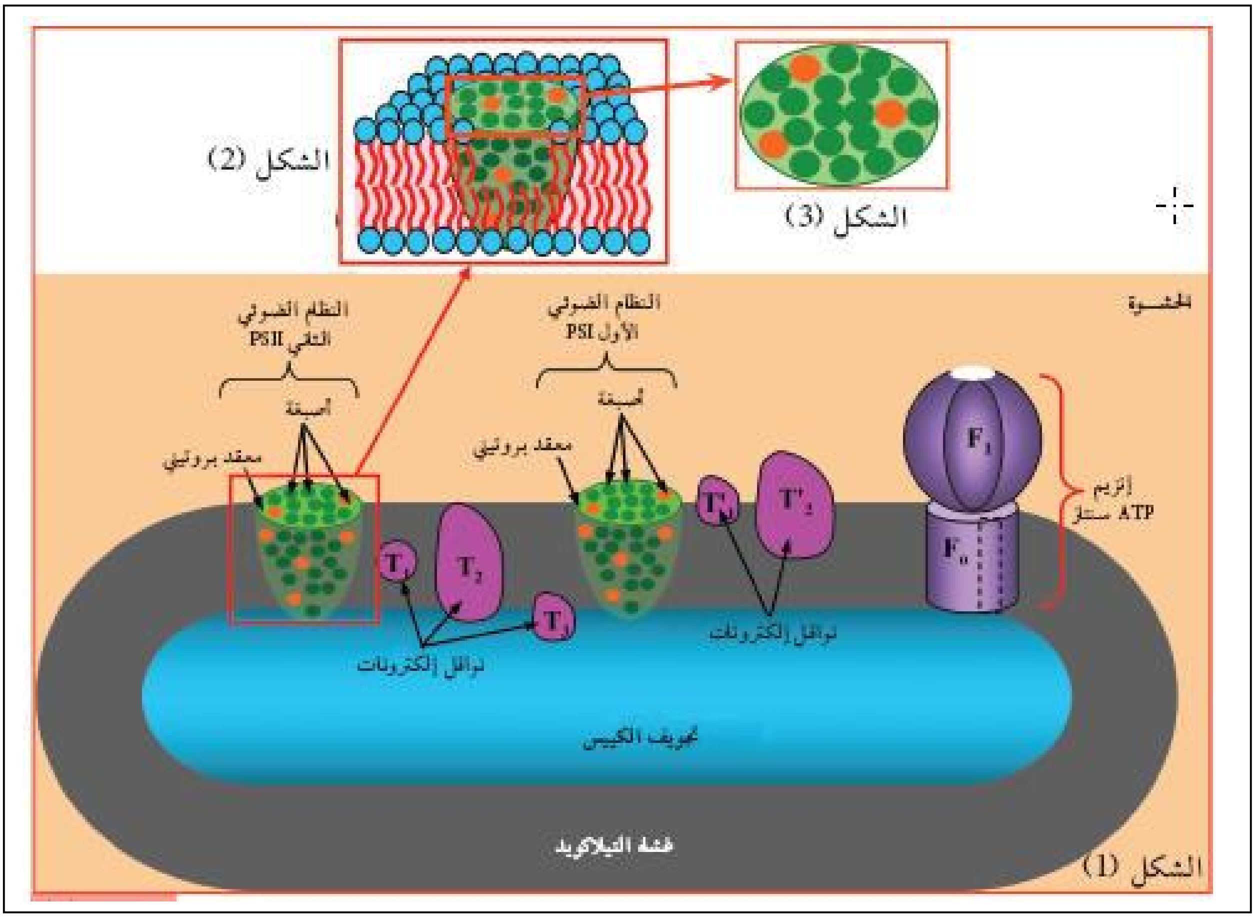
جزء الصانعة الخضراء	أهم المكونات الكيميائية
أغشية التلاكويد	أصبغة يخضورية أصبغة أشباه الجزرين نواقل الإلكترونات نوعان من الأنظمة الضوئية (PSII و PSI) إنزيم ATP سنتاز (الكرية المذنبة)
الحشوة	مواد أيضية لتركيب الجزيئات العضوية مرافقات إنزيمية ($NADP^+$ و NADPH) ATP, ADP و Pi إنزيمات متنوعة أهمها ريبولوز ثنائي الفوسفات كربوكسيلاز Rubisco

- تحوي الأغشية التيلاكوئيدية أصبغة التركيب الضوئي(اليخضور ،أصبغة أشباه الجزرين) وجهاز أنزيمي بما في ذلك الـــ ATP سينتاز
- تحوي الحشوة مواد الأيض الوسيطة لتركيب المواد العضوية كـــنواقل البروتونات ($NADPH - H^+$) ، الـــ ADP والـــATP وكذلك عدد من الأنزيمات كالريبولوز ثنائي

الفوسفات كربوكسيلاز.

التركيب الكيميائي لمكونين للصانعة الخضراء (الحشوة وأغشية التيلاكيود) مختلفة مما يعطي إشارة أولى إلى اختلاف الدور الذي يقوم به كل منهما

3 – ما فوق بنية التيلاكويد (تموضع مكونات التيلاكويد)



الأنظمة الضوئية هي معقدات بروتينية كبيرة تحتوي على عد كبير من الصبغات موزعة بطريقة منتظمة داخل المعقد البروتيني

4 – طبيعة التفاعلات الكيميائية للتركيب الضوئي

إن التفاعلات الكيميائية للتركيب الضوئي يمكن تلخصيها في المعادلة الإجمالية التالية:

ارجاع

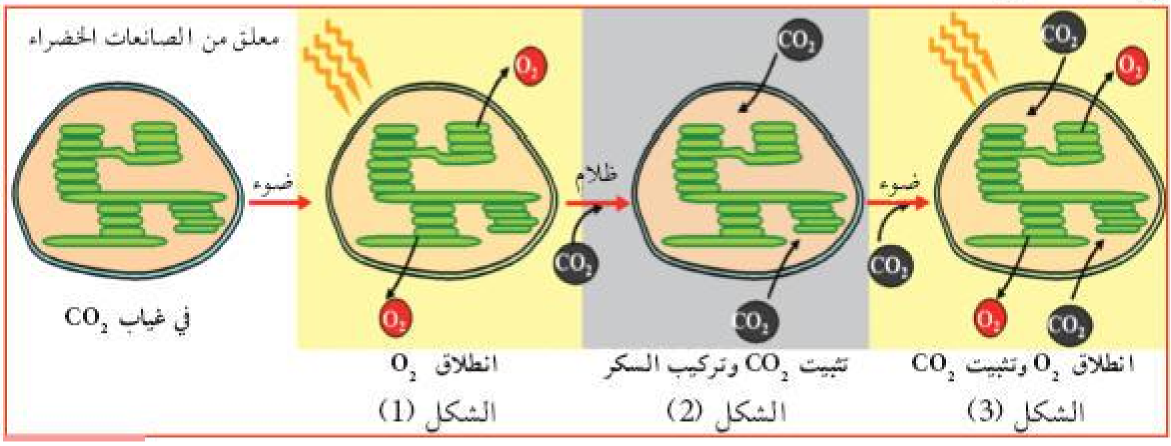
$$6CO_2 + 12H_2O \xrightarrow[\text{يخضور}]{\text{ضوء}} C_6H_{12}O_6 + 6H_2O + 6O_2$$

اكسدة

- أن تفاعلات ظاهرة التركيب الضوئي هي تفاعلات أكسدة وإرجاع.
- أن الأكسدة تتم في غشاء التيلاكويد لأنها تتطلب وجود اليخضور بينما يتم الإرجاع في الحشوة.
- أن اختلاف دور كل من التيلاكويد والحشوة يعود إلى اختلاف تركيبهما الكيميائي.

5 – مراحل عملية التركيب الضوئي

لتوضيح مراحل حدوث عملية التركيب الضوئي تم تعريض معلق للصانعات الخضراء للضوء في شروط تجريبية مناسبة في غياب CO_2 فلوحظ انطلاق O_2 لفترة قصيرة ثم يتوقف. عند وضع المعلق السابق في الظلام وإمداده بـ CO_2 لوحظ تثبيت لـ CO_2 وتركيب للسكر لفترة قصيرة. عند وضع المعلق في الضوء و CO_2 يلاحظ انطلاق O_2 وتثبيت CO_2 بصورة مستمرة. مراحل التجربة موضحة في أشكال الوثيقة (3).



الشكل (1) الشكل (2) الشكل (3)

- وجود مرحلتين من عمليتي التركيب الضوئي لكل منهما شروطها ومقرها
- شروط حدوث المرحلتين حيث المرحلة (**الكيموضوئية)** تتطلب الضوء واليخضور وتؤدي إلى انطلاق O_2 من أغشية التيلاكويد.
- تتطلب المرحلة **(الكيموحيوية)** توفر CO_2 ولا تتطلب الضوء وتؤدي إل امتصاص CO_2 في الحشوة

النشاط 3 : تفاعلات المرحلة الكيموضوئية

الهدف : وجود مرحلتين من عملية التركيب الضوئي وأن المرحلة الكيموضوئية تتم على مستوى التيلاكويد ، يتم في هذا النشاط التعرف على شروط عمل التيلاكويد وآلية حدوث هذه

1 – شروط عمل التيلاكويد :

تجربة 1:

تم تحضير معلق من التيلاكويدات المعزولة في شروط تجريبية مختلفة (ضوء وظلام)، حيث أضيف للوسط الكاشف فيروسيانور البوتاسيوم $K_3Fe(CN)_6$ بتركيز (0.1 مل) ثم (0.3 مل) الذي يقوم بدور مستقبل اصطناعي للإلكترونات وذلك في فترة الإضاءة. لوحظ بعد حقن فيروسيانور البوتاسيوم تغير لون محلول الوسط من بني محمر (حالة مؤكسدة) إلى أخضر (حالة مرجعة).

نتائج التجربة المدعمة بالحاسوب توضحها الوثيقة (1).

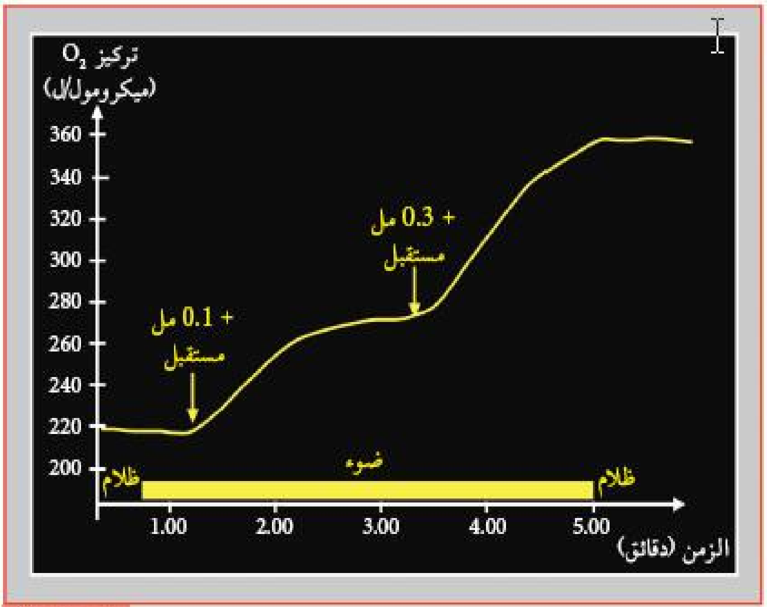
تحليل الوثيقة1

***نؤثر** كمية المستقبل على انطلاق O_2 والتي تزداد بزيادة كمية المستقبل

* أن وجود الضوء لوحده كان غير كافيا لانطلاق O_2

* حدث تفاعل إرجاع للمستقبل (استقبال إلكترونات) الذي تحول من اللون البني المحمر إلى اللون الأخضر. لكن التفاعل في عملية التركيب الضوئي هو تفاعل أكسدة أدت إلى تحرير الإلكترونات التي قامت بإرجاع المستقبل.

شروط انطلاق O_2 وهي توفر الإضاءة ومستقبل الإلكترونات.



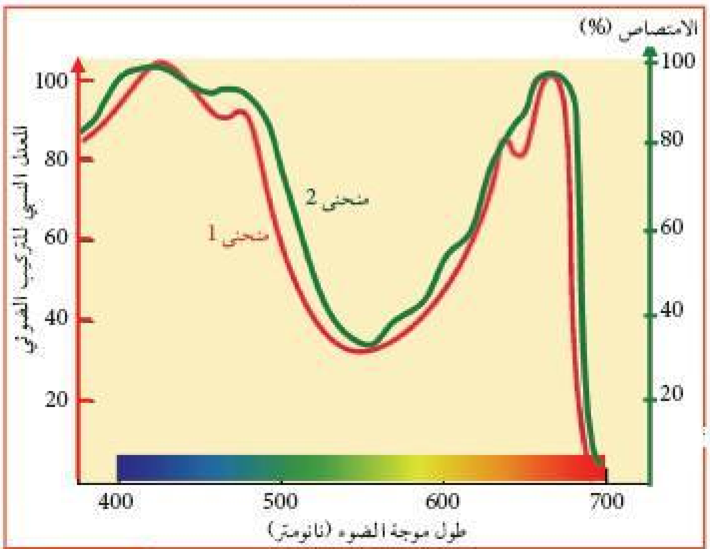
الوثيقة (1)

التجربة 2 : تأثير الوان الطيف على عمل التيلاكويد

تحليل الوثيقة

لإظهار دور ألوان الطيف على عمل التيلاكويد يتم تعريض معلق للصانعات الخضراء إلى ضوء بأطوال موجات مختلفة في المجال المرئي (من 380 إلى 700 نانومتر) ويتم قياس كمية الأكسجين المنطلق عن طريق إدخال لاقط O_2 إلى المعلق.

كما يتم في تجربة موازية قياس شدة الامتصاص لمحلول اليخضور الخام في نفس مجال الضوء المستعمل. نتائج التجربتين موضحة في منحنى الوثيقة (2).

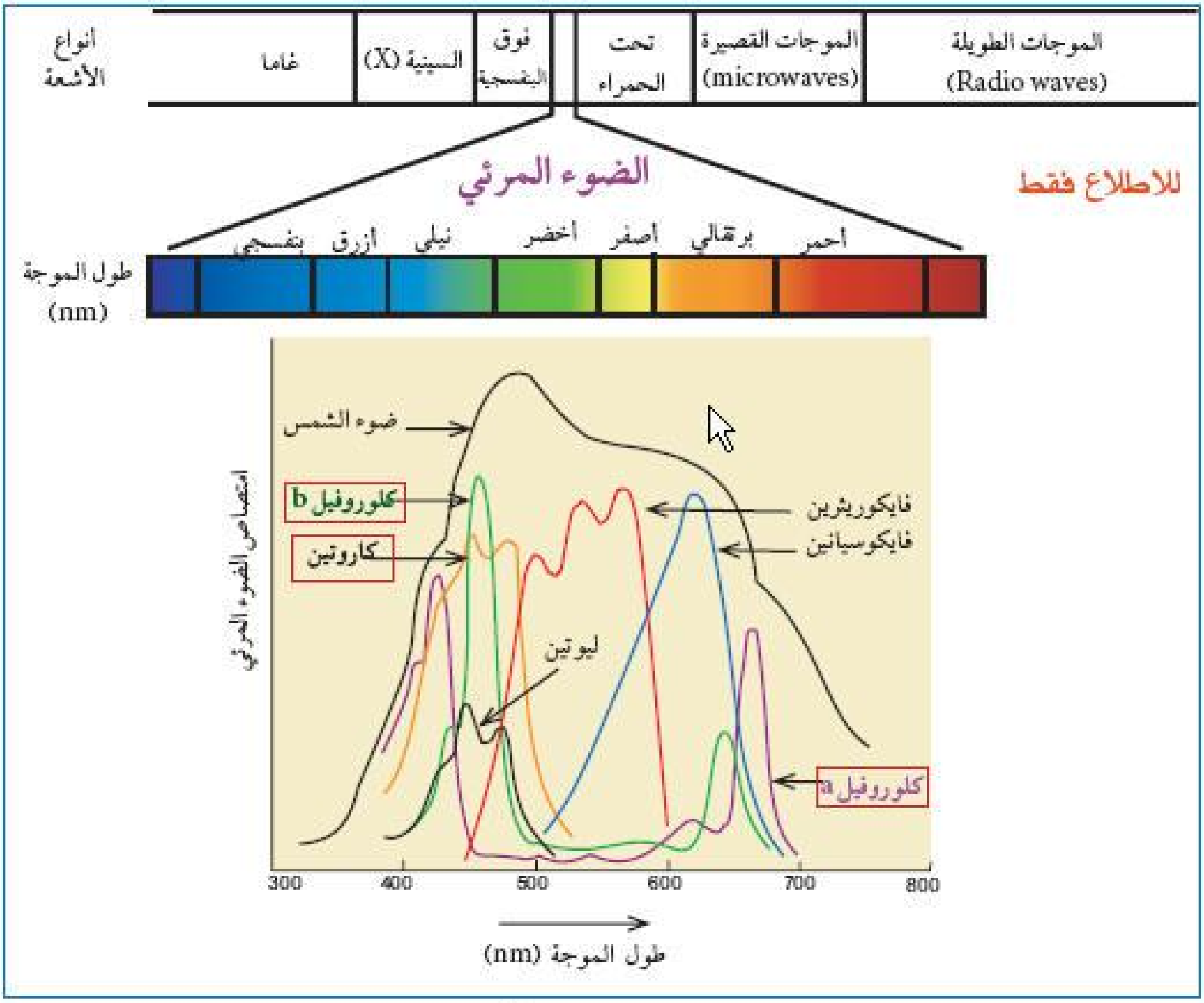


الوثيقة (2)

تحليل الوثيقة 2

- الاشعاعات الطرفية للطيف هي الاكثر امتصاص من طرف اليخضور (البنفسجية والحمراء)
- الاشعاعات الزرقاء والنيلي والصفراء والبرتقالية في اقل امتصاص من طرف اليخضور.
- الاشعاعات الخضراء يمتصها اليخضور بنسبة ضئيلة جدا.
- الطيف الأكثر تأثيرا هوالأكثر امتصاصا

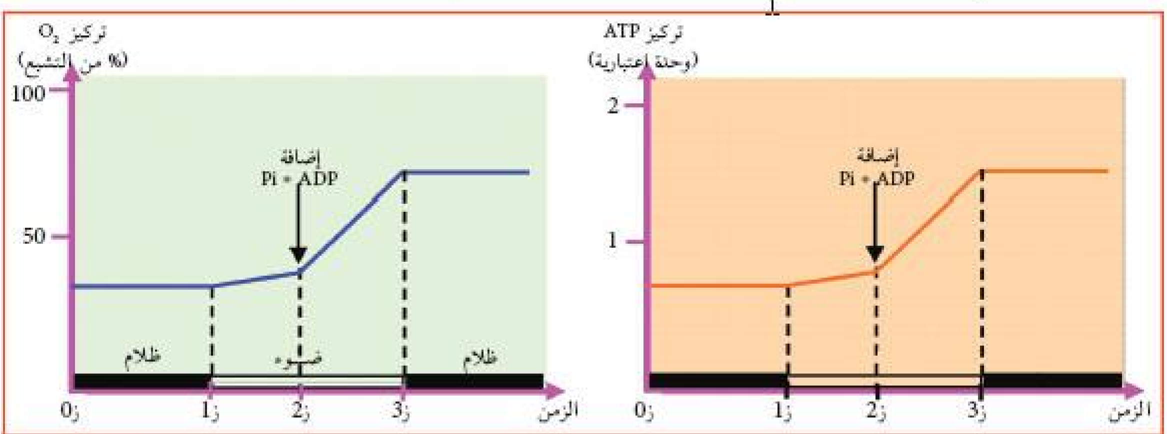
- هناك توافق بين طيف الامتصاص وطيف النشاط **: الاشعاعات الاكثر فعالية في التركيب الضوئي هي الاكثر امتصاص من طرف اليخضور**



موجات الضوء المرئي والأصباغ التي تمتصها

تجربة 3 : تأثير ال ADP وPi على عمل التيلاكويد

تم قياس تركيز كل من O_2 وATP في معلق من الصانعات الخضراء في شروط تجريبية مناسبة قبل وبعد حقن مادتي ADP وPi. نتائج وشروط التجربة موضحة في الوثيقة (3).



الوثيقة (3)

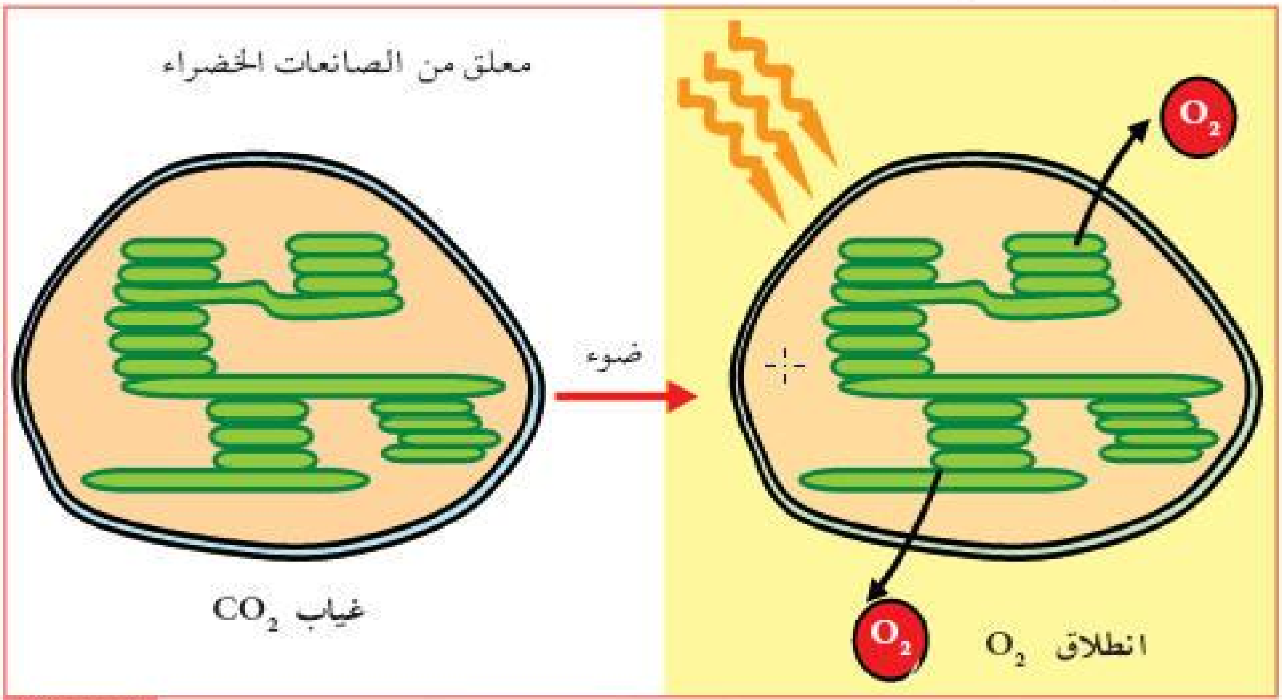
تحليل الوثيقة 3 :

* **توضح التجربة** التأثير المحفز لـــ ADP و Pi على شدة التركيب الضوئي التي يتم التعبير عنها عن طريق الأكسجين المنطلق و الزيادة في تركيز

- أن لـــ ADP و Pi تأثير محفز للتركيب الضوئي

د : دور CO2 في عمل التيلاكويد

لإظهار ذلك نجري تجربة مشابهة للتجربة الموضحة في الشكل (3) من الوثيقة (2) في النشاط السابق. حيث يتم تعريض معلق من الصانعات الخضراء للضوء في غياب CO_2 فيلاحظ انطلاق O_2 لفترة قصيرة. النتائج موضحة في الوثيقة (4).



الوثيقة (4)

تحليل الوثيقة 4 :

* أن CO_2 غير ضروري لعمل التيلاكويد وذلك لأن انطلاق O_2 يتم في غياب CO_2

- أن CO_2 ليس شرطا لعمل التيلاكويد وإنما شرط لعمل الحشوة ، بينما الضوء شرط لحدوث المرحلة أ (انطلاق O2) وليس شرطا لحدوث المرحلة ب (تثبيت CO2) .

2 آلية عمل التيلاكويد :

أ – إظهار مصدر الاوكسجين المنطلق :

في شروط تجريبية مناسبةتسمح بقياس كمية (O_2) وضعت الكلوريلا (أشنة خضراء) في وسطين يحوي كل منهما على 4% من CO_2 ومعرضين للضوء، الوسط الأول يحوي CO^*_2 (ذو أكسجين مشع) بينما يحتوي الوسط الثاني على H_2O^* (ذو أكسجين مشع). النتائج موضحة في الجدول الموالي.

الوسط	الجزيئة الحاملة للإشعاع	الأكسجين المنطلق
الأولى	CO^*_2	غير مشع
الثاني	H_2O^*	مشع

تحليل الوثيقة 4 :

- أن مصدر الأكسجين المنطلق هو الماء وليس CO_2

ب - مصدر الالكترونات لارجاع المستقبل الاصطناعي (شوارد الحديد)

الوثيقة التالية تلخص التفاعلات التي أدت الى تحول لون المحلول وانطلاق الاوكسجين في التجربة الممثلة في الوثيقة 1 في المعادلة التالية :



- التفاعل 1 : أكسدة : فقد الكترونات

لتفسير أن التفاعل هو أكسدة تتم مقارنة رقم التكافؤ لشوارد الحديد التي تحولت من الصورة الثنائية Fe^{++} إلى الصورة الثلاثية Fe^3

التفاعل 2 أ ارجاع : اكتساب الكترونات

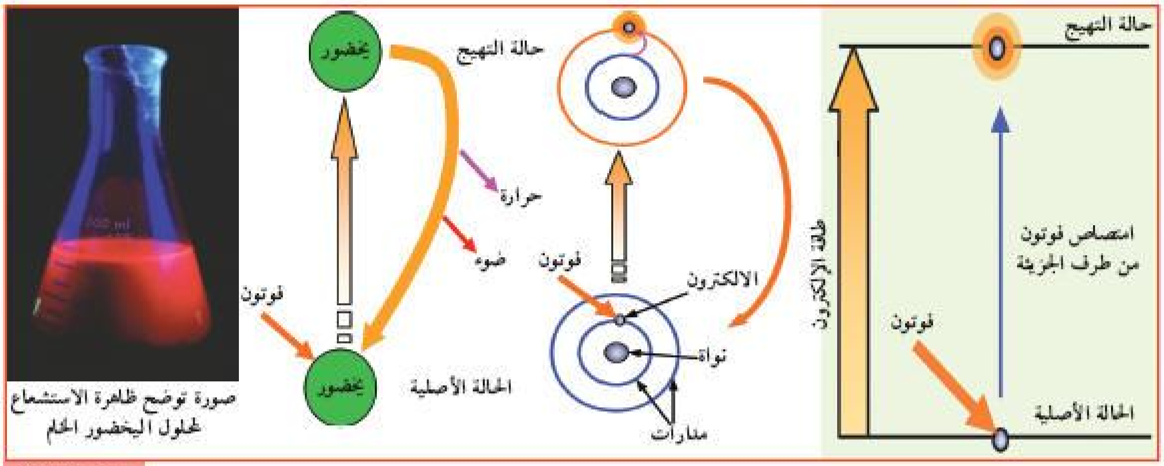
- أن مصدر الأكسجين المنطلق هو الماء بعد حدوث عملية أكسدة
- $2H_2O \longrightarrow O_2 + 4e^- + 4H^+$

ج – دور اليخضور والضوء في ارجاع مستقبل الالكترونات

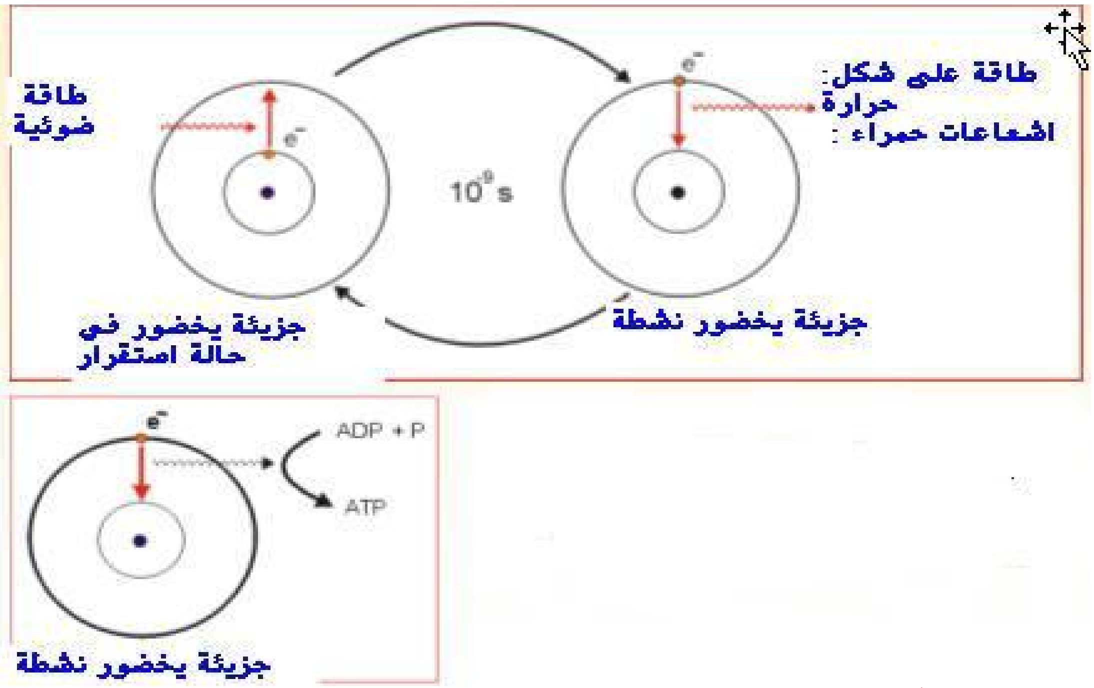
الإشكالية العلمية تتمثل في وجود تناقض بين قاعدة انتقال الإلكترونات في تفاعلات الأكسدة والإرجاع (وهي أن الإلكترونات تنتقل من الكمونات المنخفضة نحو الكمونات المرتفعة) وما تم التوصل إليه سابقا حول دور الماء كمصدر للإلكترونات

1) تجربة التفلور (الإستشعاع):

نعرض وعاء زجاجي مخروطي يحوي محلول يخضور خام (تم استخلاصة سابقا) لحزمة من الضوء الأبيض وذلك في غرفة مظلمة، الملاحظات المسجلة إلى جانب تفسير الظاهرة موضحة في أشكال الوثيقة (5).



الوثيقة (5)



تحليل الوثيقة 5 :

تجربة التفلور: تهدف التجربة التي يمكن إجراءها في المخبر إلى تفسير ظهور اللون الأحمر عند تعريض محلول اليخضور الخام للضوء (محلول اليخضور الخام يتم الحصول عليه عن طريق سحق نسيج نباتي أخضر في وجود مذيب عضوي ثم الترشيح)

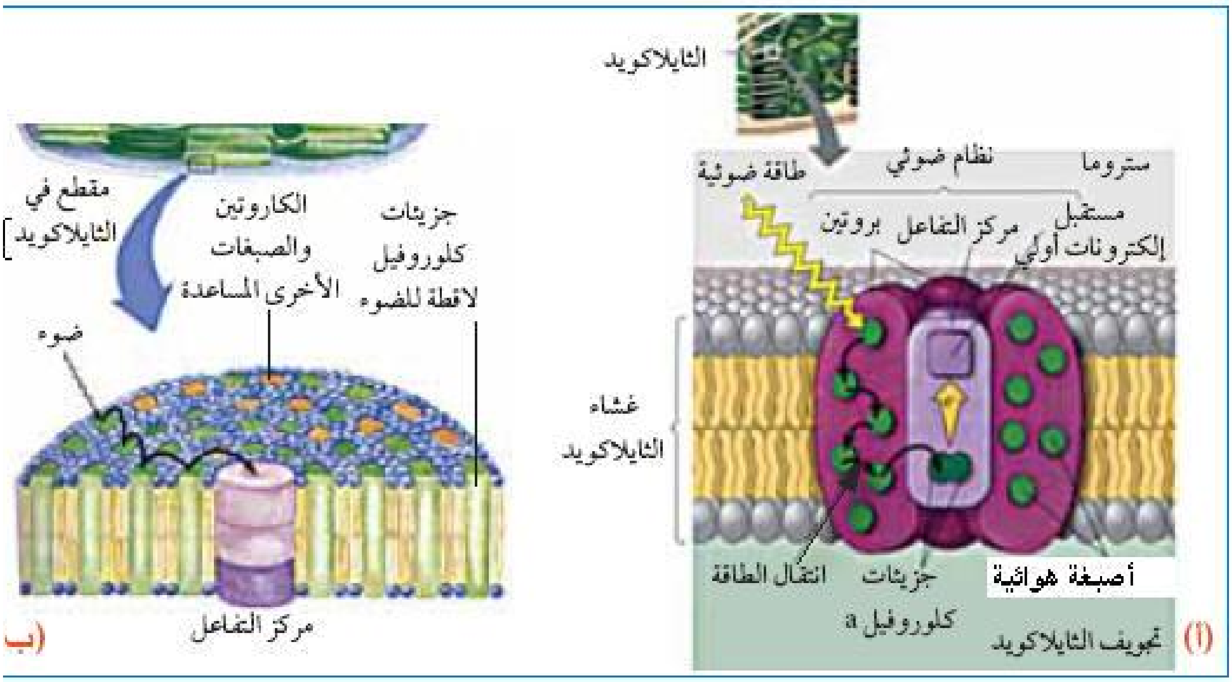
* تفسير ظهور الضوء الأحمر على أنه ضوء صادر من اليخضور بعد حدوث تهيج بسبب اكتساب الإلكترون لطاقة والانتقال إلى مدار ذو طاقة أعلى
* أن الإلكترون يعود إلى مداره بينما تفقد الطاقة في شكل حرارة وضوء
* اكتساب الصبغات للطاقة وحدوث التهيج بانتقال إلكترونات إلى مدار خارجي. لكن التفلور تم على صبغات مستخلصة من نسيج نباتي (صبغات فقد توضعها الطبيعي).

2 – آلية عمل الأنظمة الضوئية :

ماذا يحدث في حالة الصبغات المتواجدة ضمن الأنظمة الضوئية التي لم تفقد توضعها الطبيعي(ضمن الأنسجة النباتية)

أ – تأثير الضوء على الانظمة الضوئية :

توضح الوثيقة التالية آلية عمل أصبغة النظام الضوئي



أ– النظام الضوئي في غشاء الثايلاكويد   ب– تمرير الطاقة الضوئية من جزيئات لاقطة لمركز التفاعل

تحليل الوثيقة :

- دور الأصبغة الهوائية في استقبال ثم نقل الطاقة الضوئية
- الفرق الأساسي بين دور الأصبغة الهوائية وأصبغة مركز التفاعل التي تتم فيها عملية أكسدة (فقد الإلكترون) بعكس الأصبغة الهوائية التي لا تفقد الإلكترونات
- تسمية مركز التفاعل بسبب حدوث تفاعل الأكسدة

لتوضيح عمل الانظمة الضوئية نستعرض المعطيات الموضحة في الوثيقة التالية

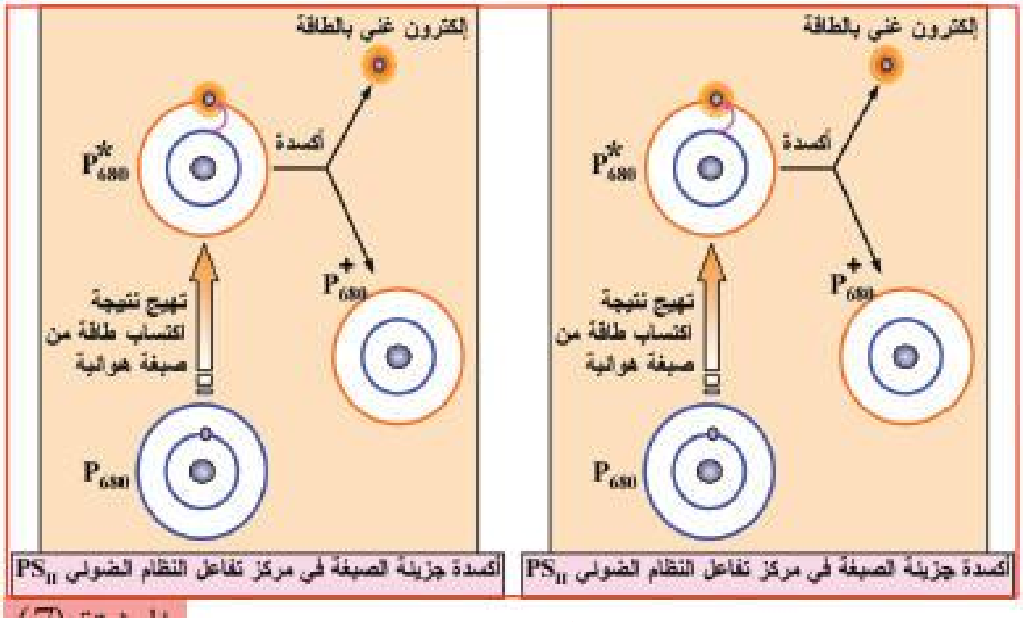
* أصبغة مركز التفاعل التي تتأكسد عند وصول الطاقة إليها من الأصبغة الهوائية.



انفصال الشحنات في مركز التفاعل نتيجة امتصاص الطاقة الضوئية .

لتوضيح حالة أصبغة مركز التفاعل في النظام الضوئي بعد اكتسابها للطاقة نقدم الوثيقة التالية :

***أن انتقال الطاقة بين الأصبغة الهوائية يتم بدون انتقال الإلكترون (انتقال الطاقة دون الإلكترون) بينما تنتقل الطاقة والإلكترون في مركز التفاعل**



ب – مصدر الكترونات إرجاع المستقبل الاصطناعي :

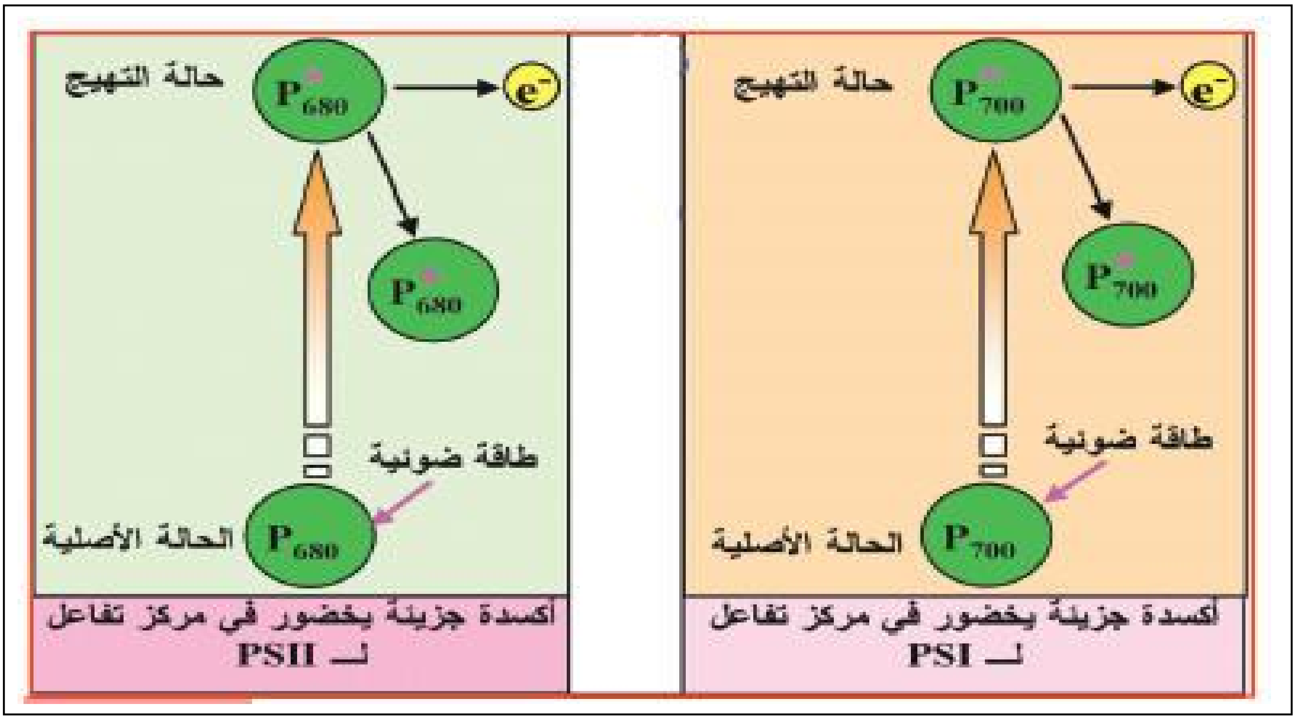
لتوضيح – مصدر الكترونات إرجاع المستقبل الاصطناعي شوارد الحديد نستعرض المعادلات والمخططات التالية :

$$2H_2O + 4Fe^{+++} \xrightarrow[\text{يخضور}]{\text{ضوء}} 4Fe^{++} + O_2 + 4H^+$$

(1) (2)

$$2P^{*}_{680} \longrightarrow 2P^{+}_{680} + 2e^- \text{ عالية الطاقة}$$

$$2P^{*}_{700} \longrightarrow 2P^{+}_{700} + 2e^- \text{ عالية الطاقة}$$



- مصدر الإلكترونات هو الأنظمة الضوئية وأن انتقال الإلكترونات لا يكون مباشرة من الماء إلى شوارد الحديد.
- هناك فقد لإلكترونات الماء وفقد لإلكترونات مركزي التفاعل وهناك استقبال الإلكترونات من طرف المستقبل فما هو تسلسل هذه التفاعلات؟

3 - تسلسل تفاعلات المرحلة الكيموضوئية

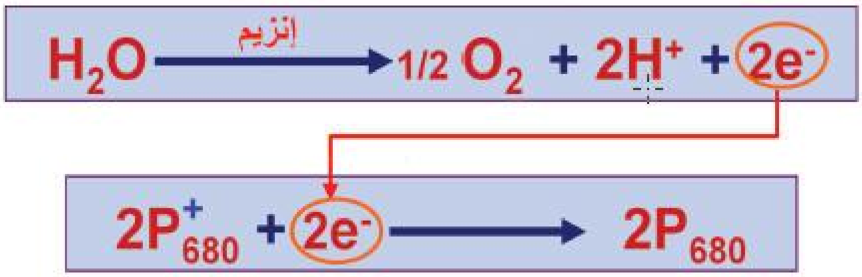
يهدف هذا النشاط إلى تحديد تسلسل تفاعلات المرحلة الكيموضوئية

أ – مصير الالكترونات الحرة.

يهدف هذا الجزء إلى تتبع مصير الإلكترونات التي تتحرر من أصبغة مركز التفاعل بالتطرق إلى دور نواقل الإلكترونات التي تم التعرف عليها من خلال مكونات غشاء التيلاكويد (الصفحة 178).

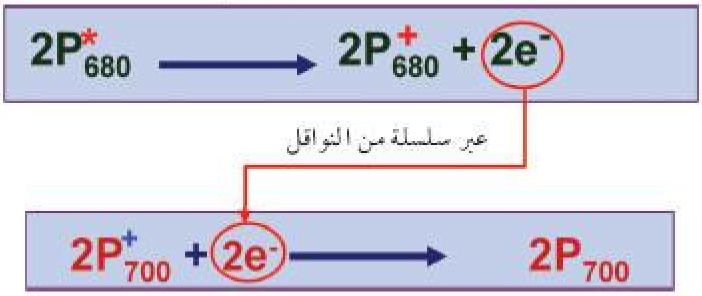
1 – مصير الكترونات الماء

يهدف هذا الجزء إلى توضيح ضرورة تعويض الإلكترونات المفقودة لغرض استمرار العملية وبالتالي التساؤل عن مصدر تعويض الإلكترونات المفقودة من مركز تفاعل الأنظمة الضوئية



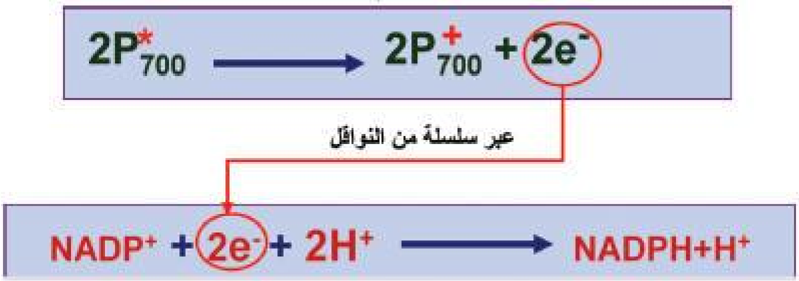
- من خلال المعادلتين الموضحين 187 يتبين أن إلكترونات الماء تقوم بتعويض الإلكترونات المفقودة من النظام الضوئي الثاني PSII .

2 – مصير الكترونات PSII



- من خلال المعادلتين الموضحتين فيتبين أن إلكترونات PSII تعوض الإلكترونات المفقودة من PSI

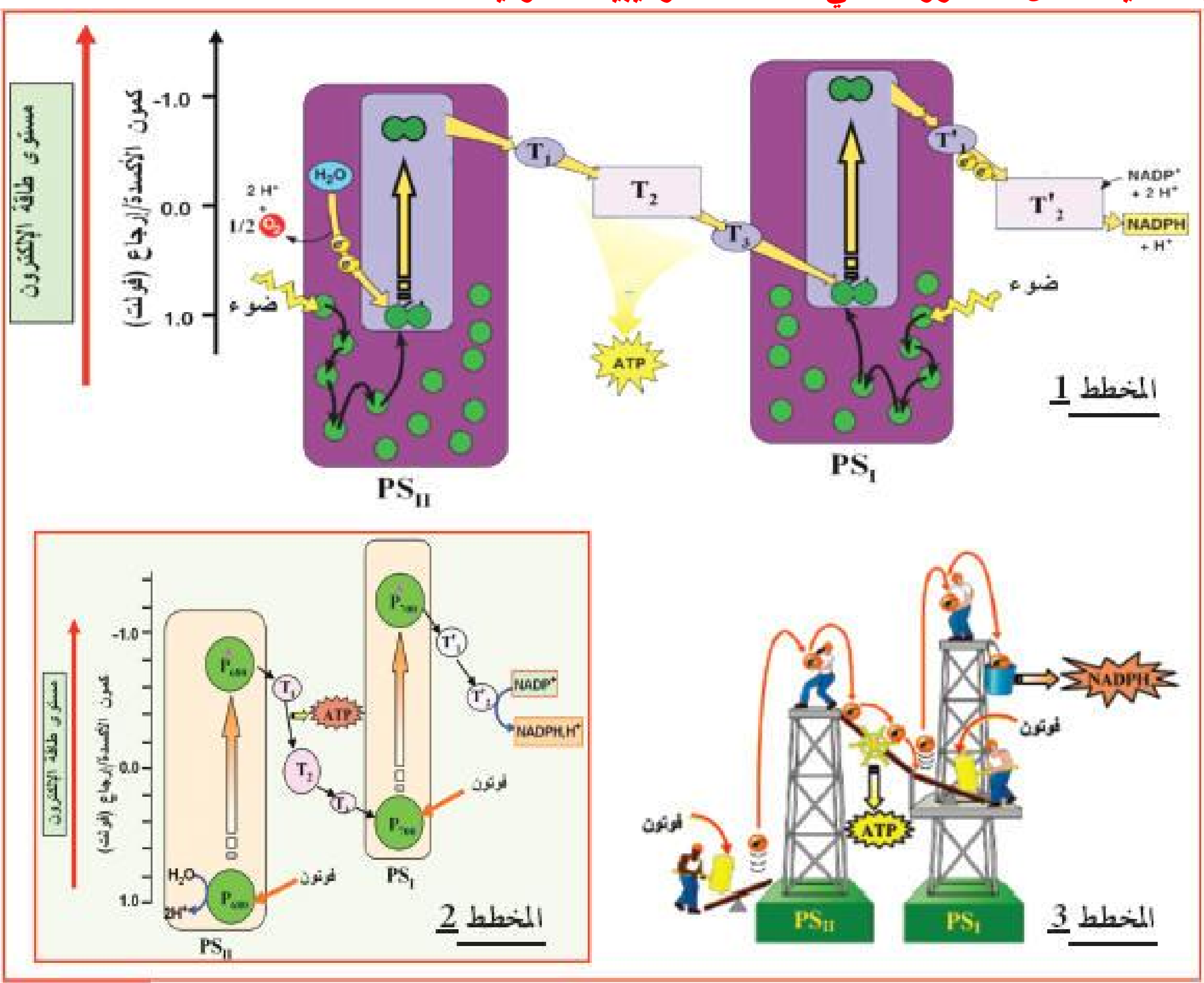
3 – مصير الكنرونات PSI



- المعادلتين فتبينان أن مصير الإلكترونات المفقودة من PSI هو المستقبل الطبيعي للإلكترونات و هو $NADP^+$.
- إن المستقبل الأخير للإلكترونات الناتجة عبارة عن ناقل للبروتونات و الإلكترونات يدعى النيكوتين أميد ثنائي نكليوتيد فوسفات $NADP^+$ الذي يُرجع إلى $NADPH,H^+$ بواسطة أنزيم NADP ريدوكتاز حسب التفاعل العام :

$$2(NADP^+) + 2H_20 \longrightarrow 2(NADPH,H^+) + 0_2$$

ب – آلية انتقال الالكترونات في السلسلة التركيبية الضوئية



الوثيقة (9)

- المخططات الموضحة في الوثيقة 9 توضح نفس التسلسل لتفاعلات انتقال الإلكترونات في السلسلة التركيبية الضوئية لكن بطرق مختلفة مع توضيح قيم كمون الأكسدة الإرجاعية التي توضيح الآلية الفيزيائية لانتقال الإلكترونات (من الكمونات المنخفضة إلى الكمونات المرتفعة).

في الوثيقة 10 تم تحويل بعض أجزاء المخطط إلى معادلات بسيطة لتوضيح آلية الانتقال وعدد الإلكترونـــات المنقولة بالإضافة إلى توضيح انتقال الإلكترونات فقط أو الإلكترونات و البروتونات حسب الطبيعية الكيميائية للناقل.

1: $2P_{680} \longrightarrow 2P^{+}_{680} + 2e^{-}$

2: $T_1 + 2e^{-} + 2H^{+} \longrightarrow T_1H_2$

تؤخذ من الحشوة

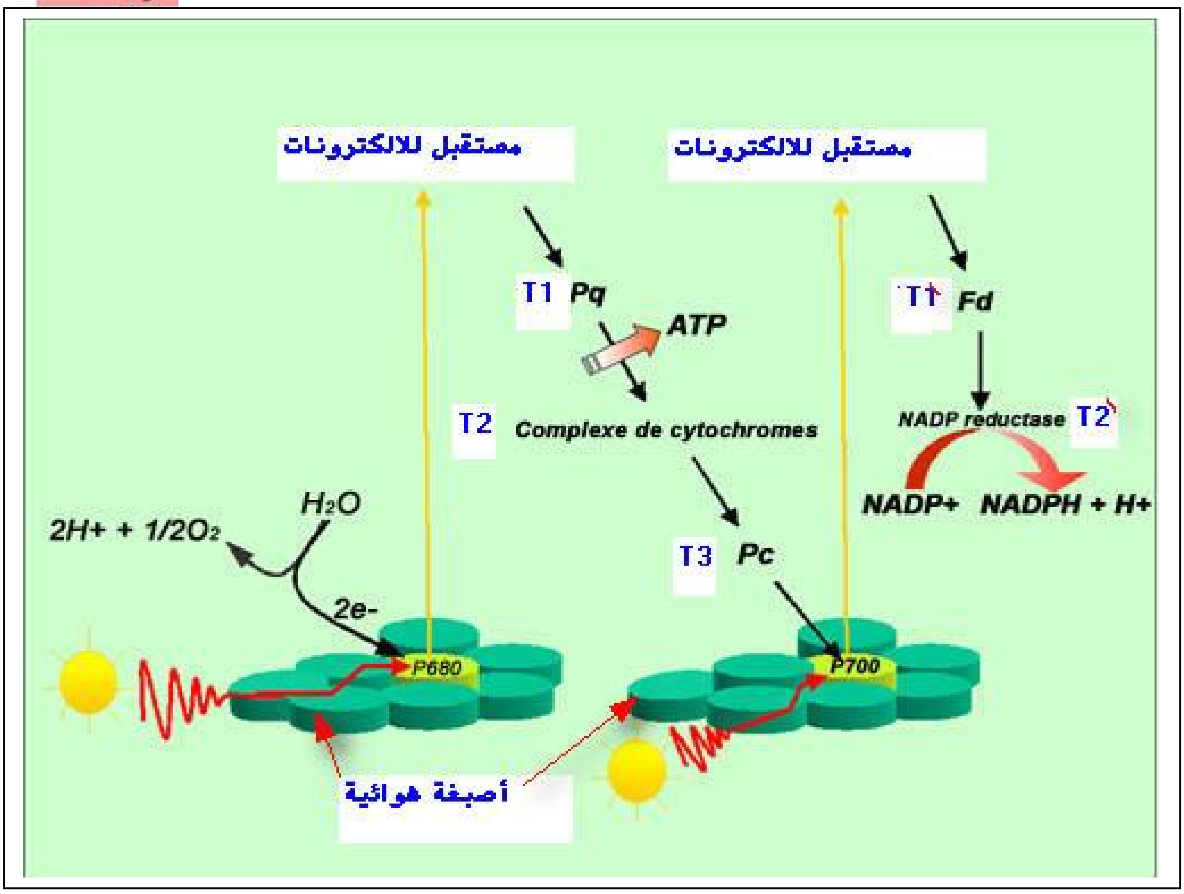
3: $T_1H_2 \longrightarrow T_1 + 2e^{-} + 2H^{+}$

تتحرر في التجويف

4: $2T_2^{3+} + 2e^{-} \longrightarrow 2T_2^{2+}$

5: $T_1H_2 + 2T_2^{3+} \longrightarrow T_1 + 2T_2^{2+} + 2H^{+}$

الوثيقة (10)



- المعادلة 2 توضح أن الإلكترونات المفقودة من PSII يتم استقبالها من طرف الناقل T_1 الذي يقوم بنقل إلكترونين وبروتونين (ناقل لإلكترونات + بروتونات).

تتم الإشارة إلى أن الناقل T_1 الذي ينقل الإلكترونات والبروتونات يضطر إلى أخذ بروتونات من الحشوة مما يؤدي إلى انخفاض تركيزها في الحشوة.

- في المعادلة 3 و4 يلاحظ التلميذ أن انتقال الإلكترونات بين T_1 و T_2 ، حيث أن T_2 لا ينقل البروتونات لذلك يتم تحرير البروتونات نحو الوسط الداخلي ، مما يزيد من تركيزها في الداخل.

* المعادلة 5 هي محصلة المعادلتين 3 و 4 .

فقد -e من النظام الضوئي يكون نتيجة التهيج لاستقباله الطاقة من الأصبغة الهوائية.

- من مخططات الوثيقة 9 يمكن استخراج قيم كمون الأكسدة الإرجاعية لكل من T1 و T2 والتي تقدر بــ -0.8 و 0.0 تقريبا أي أن الانتقال تم من الكمون المنخفض إلى المرتفع وأن الفرق كان *

المعادلة الموالية في السلسلة التركيبية الضوئية تكون على الشكل التالي:

$$2T_2^{2+} + 2T_3^{3+} \longrightarrow 2T_2^{3+} + 2T_3^{2+}$$

ج – مصير البروتونات المتراكمة داخل التجويف

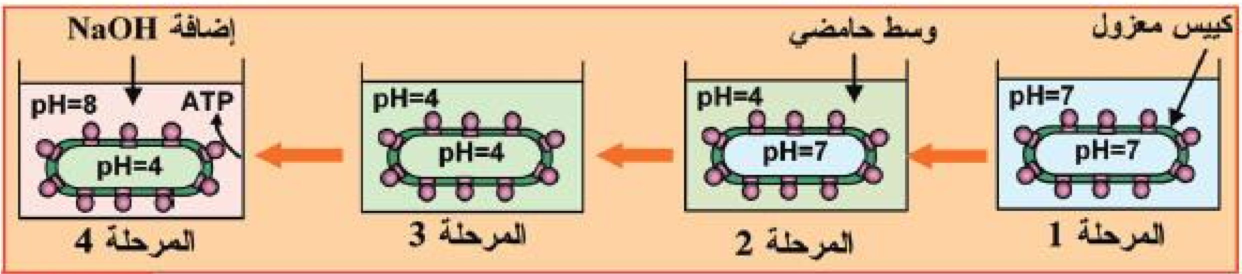
يهدف هذا الجزء إلى تحديد مصير البروتونات المتراكمة مع العلم أن تراكمها كان عكس تدرج التركيز وتطلب طاقة

– أثناء انتقال الإلكترونات في السلسلة التركيبية الضوئية تتحرر منها طاقة (يمكن ملاحظتها من خلال ارتفاع كمون الأكسدة / إرجاع) تستعمل في نقل البروتونات H^+ من الحشوة إلى داخل تجويف الكييس بواسطة الناقل T2 الذي يقوم بدور المضخة لإدخل البروتونات من الحشوة إلى التجويف مما يؤدي إلى تكون فرق في تركيز البروتونات (نقل فعال).

– فما هو مصير هذه البروتونات التي يتم إدخالها الى تجويف الكييس إلى جانب البروتونات الناتجة عن تحلل الماء ؟

– لتوضيح ذلك نستعرض التجربة التي أجراها الباحث ياغندورف André Jagendorf وذلك اعتمادا على النظرية الكيميواسموزية للعالم ميتشل Peter Mitchell

تم في هذه التجربة وضع كييسات معزولة في وسط ذو pH محدد ويحتوي على ADP وPi، التركيب التجريبي ومراحل التجربة موضحة في الوثيقة (11).



الوثيقة (11)

تحليل الوثيقة 11

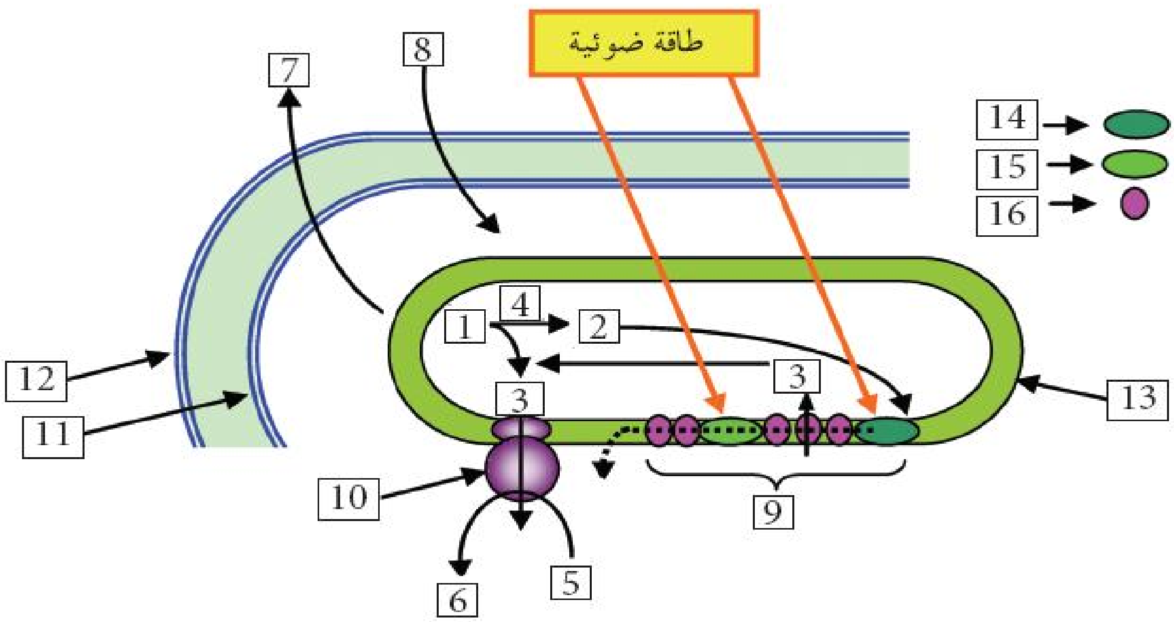
- بمفهوم pH وعلاقته بتركيز البروتونات (سلم pH يتناسب عكسا مع تركيــز البروتونـــات). أي أن تركيز البروتونات يكون مرتفعا في pH المنخفض والعكس صحيح. التفسير الشاردي يرتبط بتركيــز شوارد الهيدروجين +H
- تفسير التغير pH التجويف من خلال التركيز على دخول البروتونـــات لأنـــه زيـــادة فـــي تركيــز البروتونات.
- فائدة استعمال قاعدة NaOH التي ترفع من pH الوسط الخارجي وتسمح بإحداث فرق فـــي pH أو فرق في تركيز البروتونات بين داخل وخارج التجويف.
- أن تركيب ATP تم بواسطة إنزيم ATP Synthase انطلاقا من ADP و Pi حيث يقوم الإنـــزيم بتشكيل رابطة كيميائية بين ADP و Pi باستعمال طاقة تستمد من دخـــول البروتونـــات عبـــر هـــذه الإنزيم كما توضحه نظرية ميتشل.

*** المعادلة التي تم فيها تشكيل ATP هي :**

$$ADP + Pi \longrightarrow ATP + H_2O$$

* شروط تركيب ATP وهي وجود فرق في تركيــز البروتونـــات وتـــوفر ATP Synthase (الكريـــة المذنبة) وكذلك توفر ADP وPi

رسم تخطيطي وظيفي يبين آلية حدوث المرحلة الكيموضوئية في عملية التركيب الضوئي



البيانات

H_2O=1	ADP+Pi=5	9=السلسلة التركيبية الضوئية	13= غشاء التيلاكويد
2=إلكترونات	ATP=6	ATP Synthase=10	PSII =14
H^+=3	O_2=7	11=غشاء داخلي	PSI =15
4=إنزيم (جزء من PSII)	CO_2=8	12=غشاء خارجي	16=نواقل الإلكترونات

* نواتج المرحلة الكيموضوئية وهي ATP و NADPH,H+

* 14 و 15 يمثلان الأنظمة الضوئية وهي الأنظمة المسؤولة على استقبال وتحويل الطاقة الضوئية في صورة إلكترونات غنية بالطاقة

* إنجاز الرسم التخطيطي الوظيفي يشمل كل المكتسبات التي تم الحصول عليها وهي:

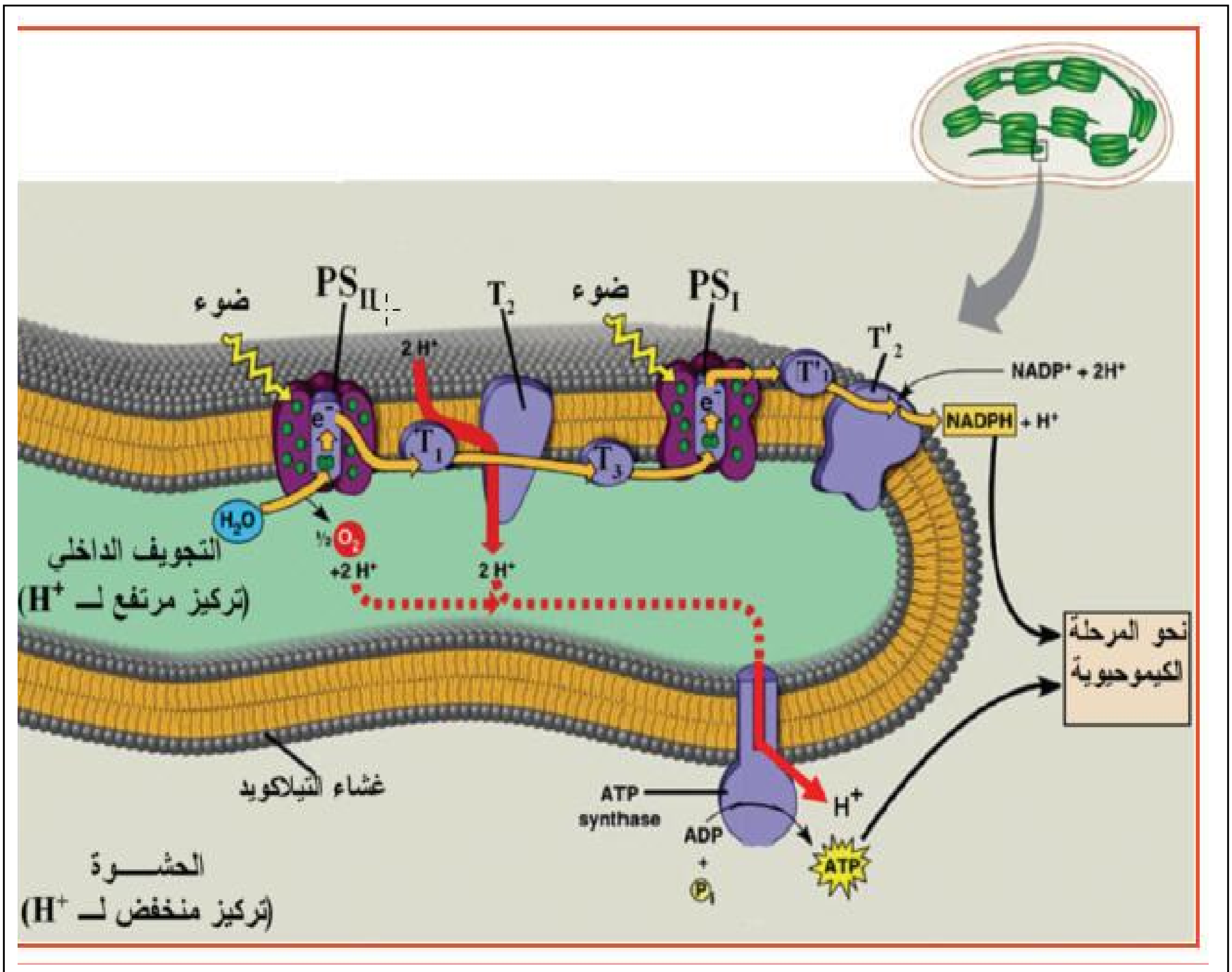
أنواع البروتينات الموجود في أغشية التيلاكويد التي تم التعرف عليها سابقا (عددها ، مواقعها ، شكلها)

دور كل منها في المرحلة الكيموضوئية

* دور إنزيم ATP Synthase في تركيب ATP　　　*انتقال الإلكترونات

* مصير الإلكترونات المنقولة.　　　* حركة البروتونات عبر غشاء التيلاكويد

ويمكن الاستعانة كذلك بالمخطط التالي الذي يلخص المرحلة الكيموضوئية من عملية التركيب الضوئي



الخلاصة :

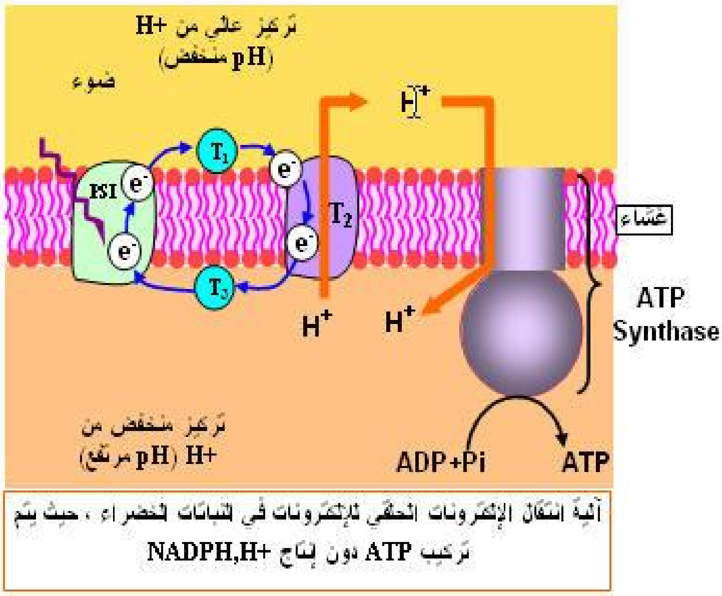
يصاحب نقل الإلكترونات على طول سلسلة الأكسدة الإرجاعية، تراكم البروتونات الناتجة عن التحلل الضوئي للماء وتلك المنقولة من الحشوة بإتجاه تجويف التيلاكوئيد

إن تدرج تركيز البروتونات المتولد بين تجويف التيلاكوئيد وحشوة الصانعة الخضراء ، ينتشر على شكل سيل من البروتونات الخارجة عبر ATP سينتاز

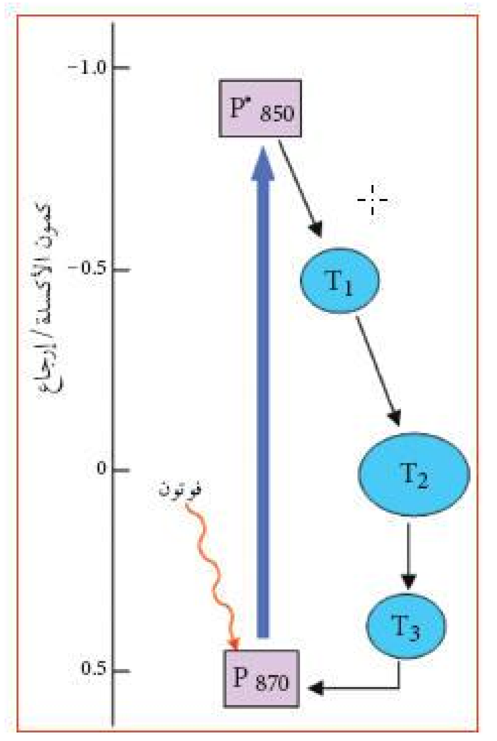
تسمح الطاقة المتحررة من سيل البروتونات الخارجة بفسفرة الـــ ADP إلى ATP في وجود الفوسفات اللاعضوي(Pi): إنها الفسفرة الضوئية، نواتج المرحلة الكيموضوئية وهي ATP و NADPH,H+

ملاحظة هامة :

هناك مسار حلقي للالكترونات كما هو الحال عند البكتريا الزرقاء ، انظر المخططات



آلية انتقال الإلكترونات الحلقي للإلكترونات في النباتات الخضراء ، حيث يتم تركيب ATP دون إنتاج NADPH,H+



تعود الالكترونات المنشطة مرة اخرى الى مركز التفاعل الذي انطلقت منه في النظام الضوئي الاول مرورا بسلسلة نقل الالكترونات ، منتجة طاقة على شكل ATP فقط تلزم في التفاعلات الكيموضوئية والتي تستهلك كمية كبيرة من ATP . دون انتاج (NADPH,H+

النشاط 4 : تفاعلات المرحلة الكيموحيوية

يهدف هذا النشاط إلى آلية تركيب الجزيئات العضوية (السكريات) من خلال تثبيت جزيئات CO_2 . كما يهدف إلى ربط العلاقة بين المرحلتين الكيموضوئية والكيموحيوية وإظهار التكامل بينهما.

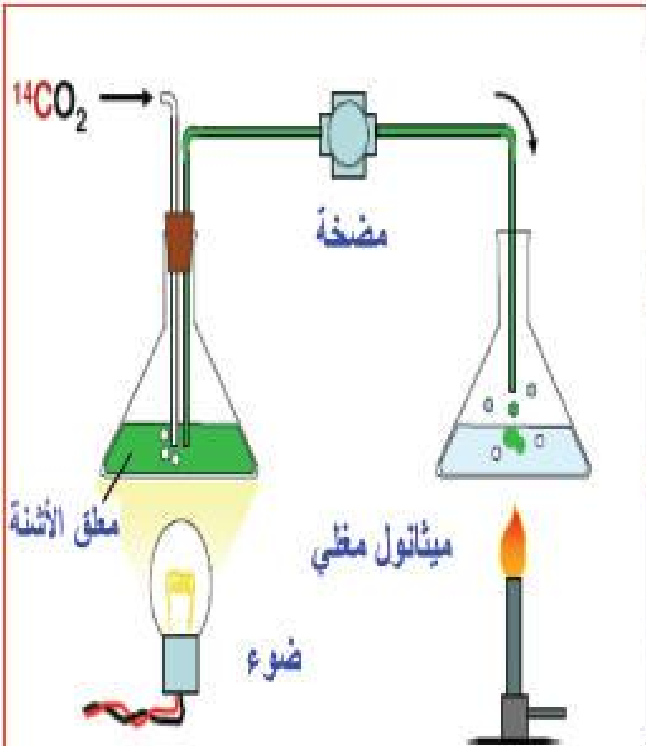
تحدث المرحلة الكيموحيوية لعملية التركيب الضوئي في الحشوة وتسمح بتثبيت CO2 لغرض إنتاج الجزيئات العضوية : السكريات

1 – تثبين غاز CO2

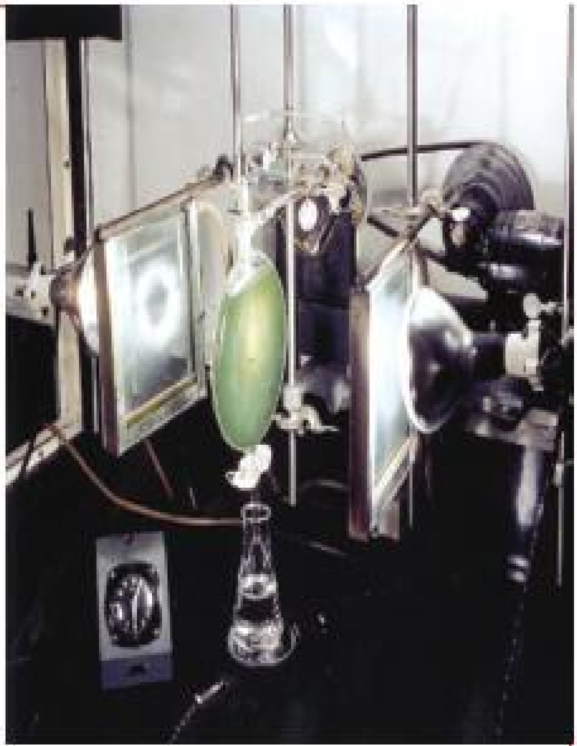
يهدف هذا النشاط الجزئي إلى وصف التجربة المشهورة التي قام بها العالم كالفن واستعمل فيها العناصر المشعة وتقنيات مختلفة أخرى (الفصل الكروماتوغرافي ثنائي البعد). سمحت هذه التجربة للعالم كالفن من اكتشاف سلسلة التفاعلات المؤدية إلى تثبيت CO_2 وتركيب السكر في حلقة تسمى باسمه : حلقة كالفن.

قصد التعرف على مصير غاز CO_2 المستهلك أنجزت التجربة الموضحة في التركيب التجريبي (الوثيقة 1)، حيث قام كالفن ومساعدوه بوضع معلق أشنة خضراء (الكلوريلا) في وعاء شفاف معرض للضوء يسمح للأشنة بالقيام بعملية التركيب الضوئي ومزود بـ $^{14}CO_2$ مشع وذلك تحت شروط ثابتة من الحرارة والضوء.

باستعمال مضخة يتم ضخ كميات من المعلق عبر أنبوب نحو وعاء ثاني به ميثانول مغلي، يمكن التحكم في مدة تعريض الأشنة لغاز $^{14}CO_2$ المشع في فترات تمتد من ثانية واحدة إلى عدة دقائق.



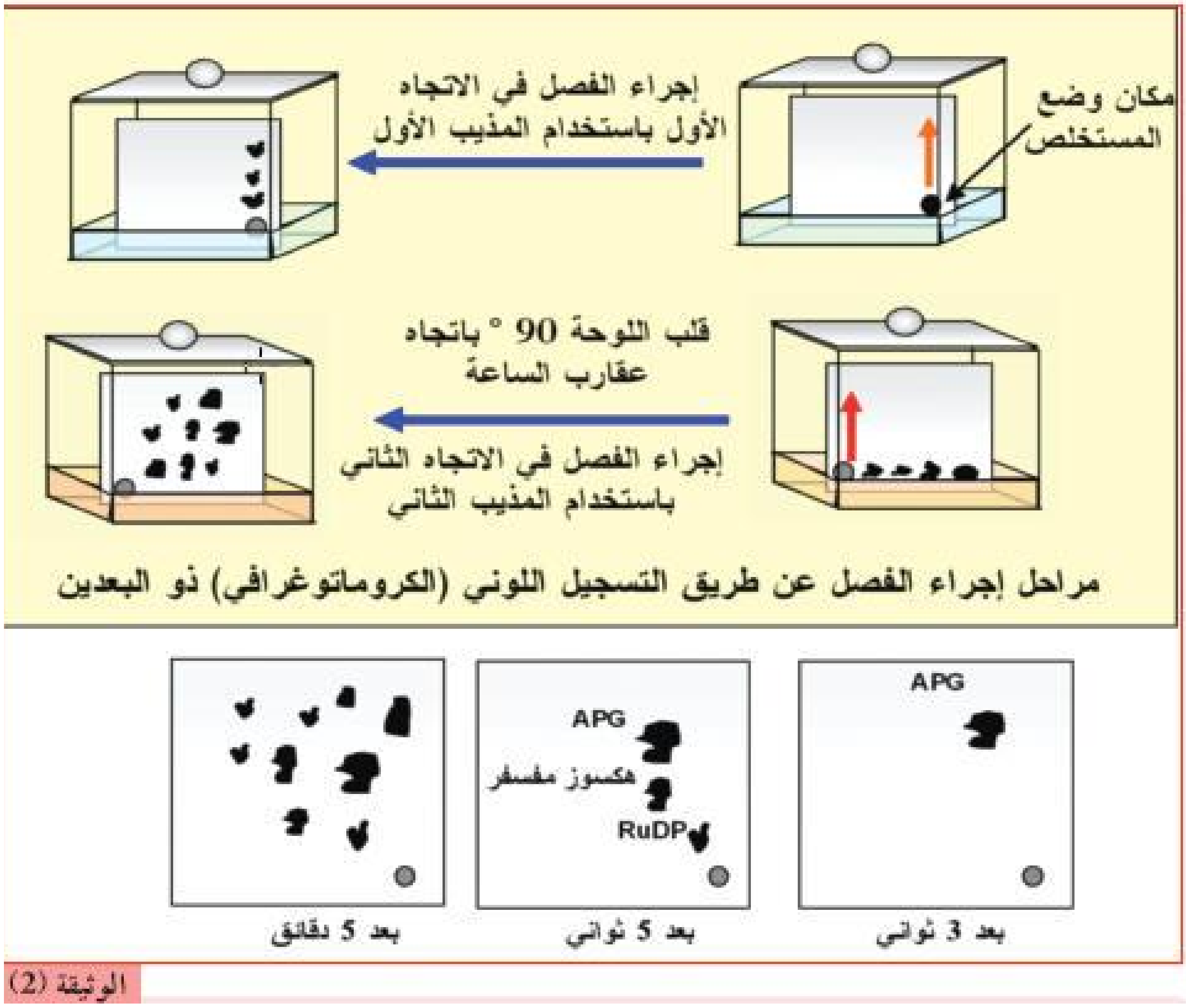
رسم تخطيطي مبسط للتركيب التجريبي المستعمل في التجربة



صورة للتركيب التجريبي المستعمل في التجربة

الوثيقة (1)

باستعمل تقنية خاصة تجمع بين التسجيل ذو البعدين والتصوير الإشعاعي الذاتي يتم التعرف على محتوى مستخلص الأشنة الذي يوضح تثبيت $^{14}CO_2$ المشع ودمجه في مركبات عضوية وسطية مختلفة ممثلة في تقنية التسجيل اللوني (الكروماتوغرافي) ذو البعدين التي نتائجه موضحة في الوثيقتين (2 و3).



الوثيقة (2)

تحليل الوثيقتين 1 و 2 :

- أهمية التقنيات المستعملة: فاستعمال CO_2 المشع يسمح بتتبع نواتج تثبيته والمركبات الناتجة من ذلك كما يسمح استعمال الميثانول المغلي إلى توقيف التفاعلات واستخلاص المكونات وذلك بقتل الأشنة بعد فترات زمنية محددة. أما استعمال تقنية التسجيل الكروماتوغرافي ذو البعدين فيسمح بفصل المكونات والتعرف عليها.
- APG كأول مركب يظهر فيه الإشعاع وهو بذلك أول مركب يتم تصنيعه في الدورة.
- نتائج الفصل الكروماتوغرافي :

زمن ظهور البقع المشعة يشير إلى ترتيب تشكلها

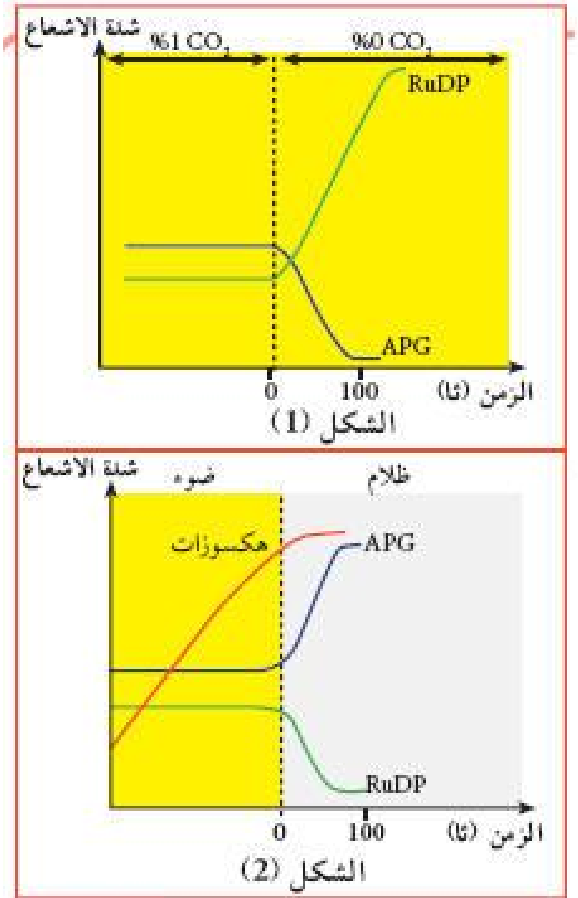
كمية الإشعاع فيها يدل على تحولها مع الزمن إلى مركبات أخرى.

- مقر حدوث تفاعلات المرحلة الكيموحيوية وهي الحشوة

- استخلاص شروط دمج CO_2 وهي حدوث المرحلة الكيموضوئية وتوفر CO_2

2 – آلية دمج (إرجاع) غاز CO2

يهدف هذا النشاط إلى تحديد تسلسل تفاعلات المرحلة الكيموحيوية (دمج CO_2) من خلال قياس تركيز المركبات المختلفة التي يظهر فيها الإشعاع في ظروف مختلفة من الضوء والظلام.



الوثيقة (3)

قصد التعرف على تسلسل تفاعلات دمج CO_2 على مستوى الحشوة تم إجراء تحليل مقارن للمركبات التي يظهر فيها الإشعاع والتي تعبر عن دمج CO_2، مثل (RuDiP، APG والسكريات السداسية) وذلك في شروط تجريبية معينة.

1) تم في تجربة وضع معلق لأشنة خضراء أحادية الخلية في الضوء وتم تزويده بـ $^{14}CO_2$ مشع بتركيز 1%. بعد فترة زمنية (10 دقائق) يحوّل المعلق إلى وسط خالي من CO_2. ثم تقاس شدة الإشعاع في مركبين عضويين هما:

- RuDP (Rubilose Di Phosphate) ريبيلوز ثنائي الفسفات: مركب خماسي الكربون يقوم بتثبيت CO_2.
- APG (Acide Phospho Glycerique) حمض فسفو غلسريك: وهو أول مركب ناتج من تثبيت CO_2.

نتائج التجربة موضحة في منحنى الشكل (1) من الوثيقة (3).

2) في تجربة ثانية تم تزويد معلق لأشنة خضراء أحادية الخلية بـ $^{14}CO_2$ مشع (مع الحفاظ على تركيزه في الوسط ثابتا خلال مدة التجربة)، يعرّض المعلق للضوء لمدة 30 دقيقة ثم يوضع في الظلام. تقاس بعد ذلك شدة الإشعاع في كل RuDP وAPG وفي السكريات السداسية (الهكسوزات).

نتائج التجربة موضحة في منحنيات الشكل (2) من الوثيقة (3).

تحليل الوثيقة 3 :

- في وجود تركيز ثابت من CO_2 يكون تركيزهما ثابت مما يشير إلى تجديد كل منهما باستمرار (تحول وإنتاج بنفس الكمية).

في غياب CO_2 يرتفع تركيز RuDP مما يشير إلى أنه يتركب لكنه لا يستهلك بينما لا يتم تركيب APG في غياب CO_2 .

- تفسير الثبات يدل على تركيب وتحول بنفس الكمية.

*أما التزايد فقط فيشير إلى حدوث تركيب دون حدوث تحول التناقص يشير إلى حدوث التحول وعـــدم حدوث التركيب

* الشكل 2 : يطرح حالة مختلفة حيث يتم إظهار تأثير الإضاءة على تركيز المركبين السابقين (RuDP و APG) بالإضافة إلى الهكسوزات التي تبين من خلال نتائج التسجيل الكروماتوغرافي فـــي الصـــفحة 193 أنها تظهر متأخرة ويزداد تركيزها باستمرار.

في الضوء تتم عملية التركيب الضوئي ويتم طبيعيا تشكل وتحول APG و RuDP باستمرار مما يـــؤدي إلى ثبات تركيزهما.

في الظلام يتم تشكل APG باستمرار ولا يتم تحويله بينما يتم تحول RuDP ولا يتم تجديده ممـــا يـــؤدي إلى انخفاض تركيزه

- من خلال الشكلين 1 و2 يستخلص أن المركبين يتحولان إلى بعضهما ضمن حلقة يتطلب اســـتمرارها توفر CO_2 و الضوء
- أن تجديد شروط RuDP يتطلب توفر CO_2 وتوفر الإضاءة .

الخلاصة :

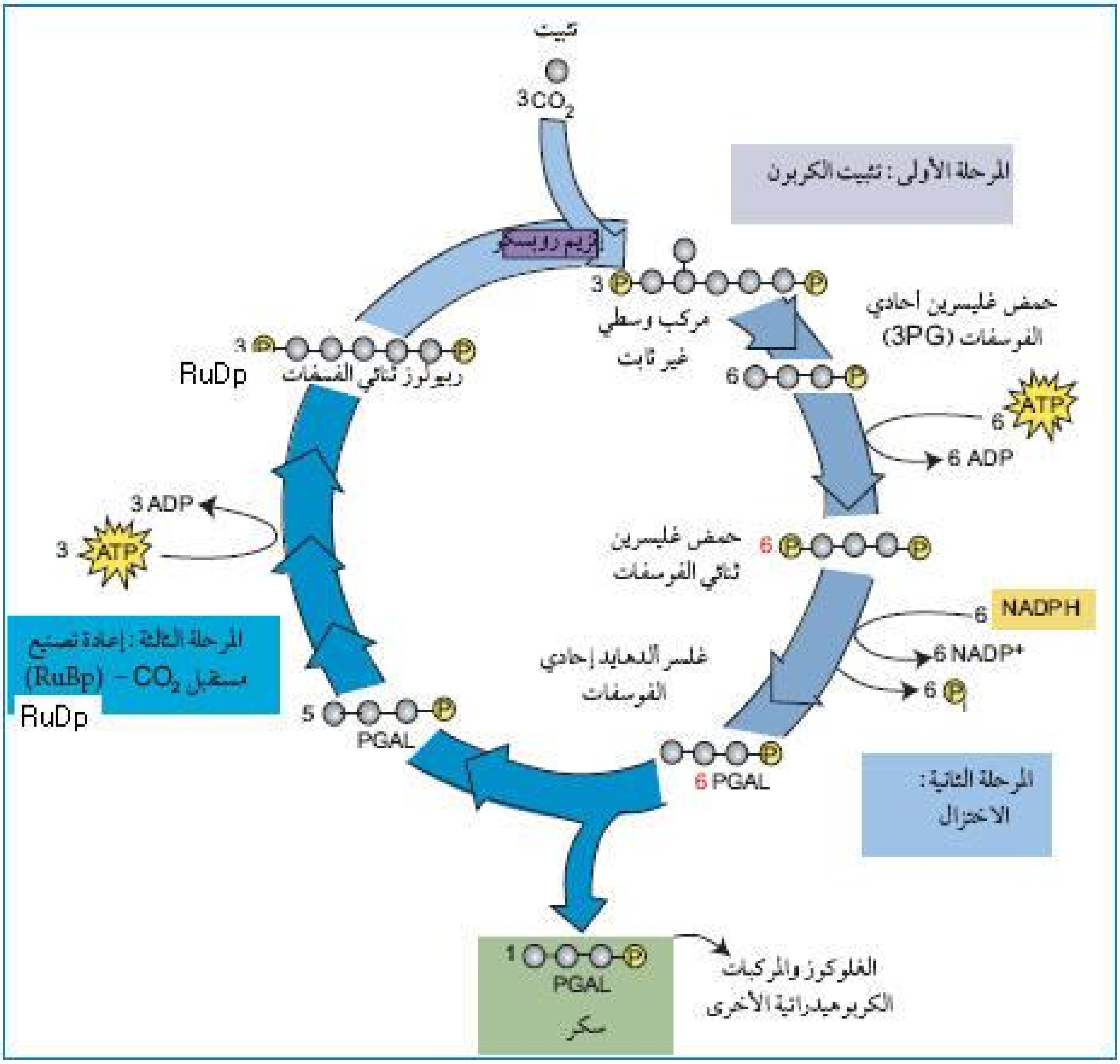
- يثبت الـــ **CO2** على جزيئة خماسية الكربون : الريبولوز ثنائي الفوسفات **(Rudip)** مشكلا مركب سداسي الكربون الذي ينشطرسريعا إلى جزيئتين بثلاث ذرات كربون هو حمض الفوسفو غليسريك **(APG)**.
- يراقب دمج الـــ CO_2 بأنزيم الريبولوز ثنائي الفوسفات كربوكسيلاز.

* ينشط حمض الفوسفوغليسريك المؤكسد ثم يُرجع بواسطة ال**ATP** و **$NADPH,H^+$** الناتجين عن المرحلة الكيميوضوئية.

* يستخدم جزء من السكريات الثلاثية المرجعة في تجديد الـــ**Rudip** أثناء خلال تفاعلات حلقة كالفن وبنسون

* يستخدم الجزء الآخر من السكريات المرجعة في تركيب السكريات سداسية الكربون ، الأحماض الأمينية ،والدسم .

3 – مراحل حلقة كالفن :



تفاعلات الكيموحيوية التفاعلات اللاضوئية (حلقة كالفن)

ملاحظة هامة من المخطط :

RuBp=RuDp

انزيم روبيسكو Rubisco هو اختصار لانزيم أنزيم الريبولوز ثنائي الفوسفات كربوكسيلاز

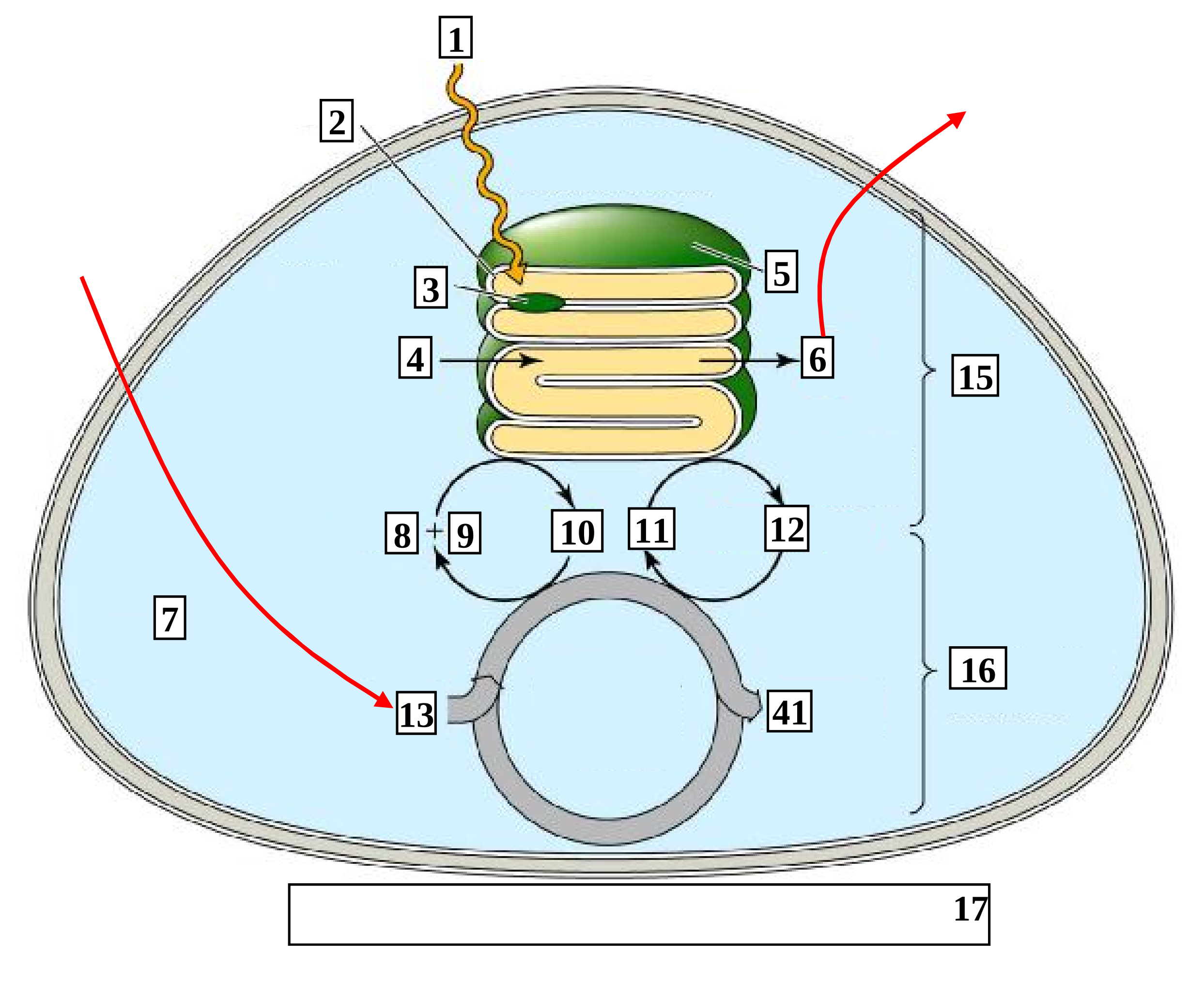
RIBULOSE DIPHOSPHATE CARBOXYLASE

- تركيب سكر سداسي انطلاقا من 6 جزيئات CO_2
- عدد ATP اللازمة لتركيب سكر سداسي واحد وهي 18 جزيئة.

4 – التكامل بين المرحلة الكيموضوئية والكيموحيوية

يهدف هذا النشاط إلى ربط العلاقة بين مرحلتي التركيب الضوئي (الكيموضوئية والكيموحيوية) من خلال إظهار التكامل بينهما. تم توضيح هذه العلاقة من خلال مخطط يقوم التلميذ من خلاله بإضافة البيانات اللازمة والإجابة على الأسئلة المرافقة.

تمثل الوثيقة التالية رسم تخطيطي يوضح التكامل بين المرحلتين الكيموضوئية والكيموحيوية لعملية التركيب الضوئي



1= ضوء	7= الحشوة	13= CO2
2= غشاء التيلاكويد	8= ADP	14= سكر
3= نظام ضوئي	9= Pi	15= المرحلة الكيموضوئية
4= H_2O	10= ATP	16= المرحلة الكيموحيوية
5=تيلاكويد (كييس)	11= NADP+	17= مخطط يوضح التكامل بين مرحلتي التركيب الضوئي
6= أكسجين	12= NADPH,H+	

تحليل الوثيقة :

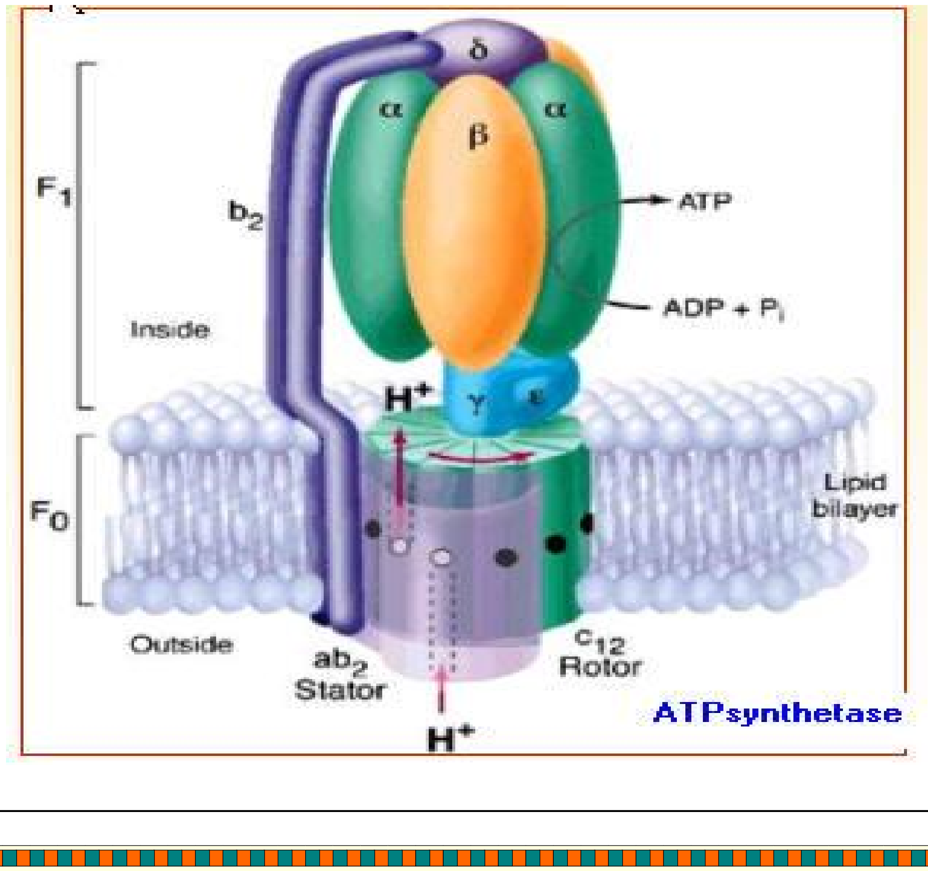
- أن دور الإضاءة هو حدوث المرحلة الضوئية التي توفر ATP و $NADPH,H^+$. لذلك فإن توفيرهما في الظلام يؤدي إلى تثبيت CO_2 دون الحاجة إلى الإضاءة.
- لــ CO_2 دور غير مباشر في انطلاق O_2 حيث يؤثر بطريقة رجعية Feed-back. أي أن تثبيت CO_2 يسمح بتجديد مركبات ADP و Pi و $NADP^+$ الضرورية لاستمرار المرحلة الكيموضوئية التي تؤدي إلى انطلاق O^2 .
- في هذه التجربة الموضحة في الوثيقة 4 لوحظ انطلاق O_2 لفترة قصيرة فقط في غياب CO_2 وقد يعود ذلك إلى توفر كمية من ADP و Pi و $NADP^+$ استعملت في المرحلة الكيموضوئية ولكنها لم تتجدد بسبب عدم حدوث المرحلة الكيموحيوية نظرا لغياب CO_2

الخلاصة :

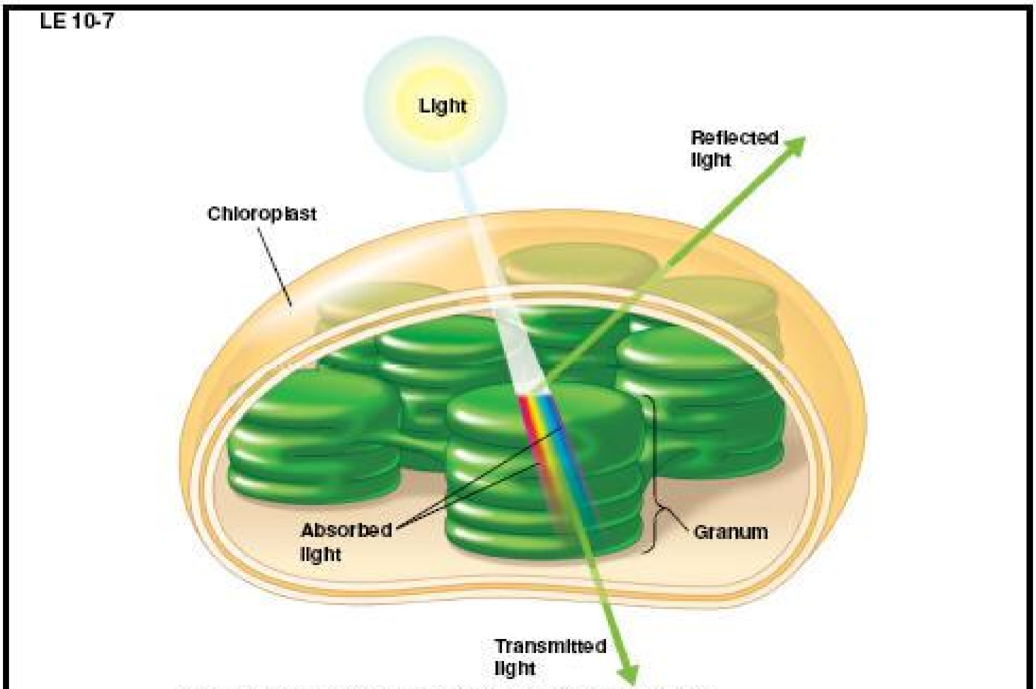
- أثناء التركيب الضوئي يتم على مستوى الصانعات الخضراء الجمع بين:

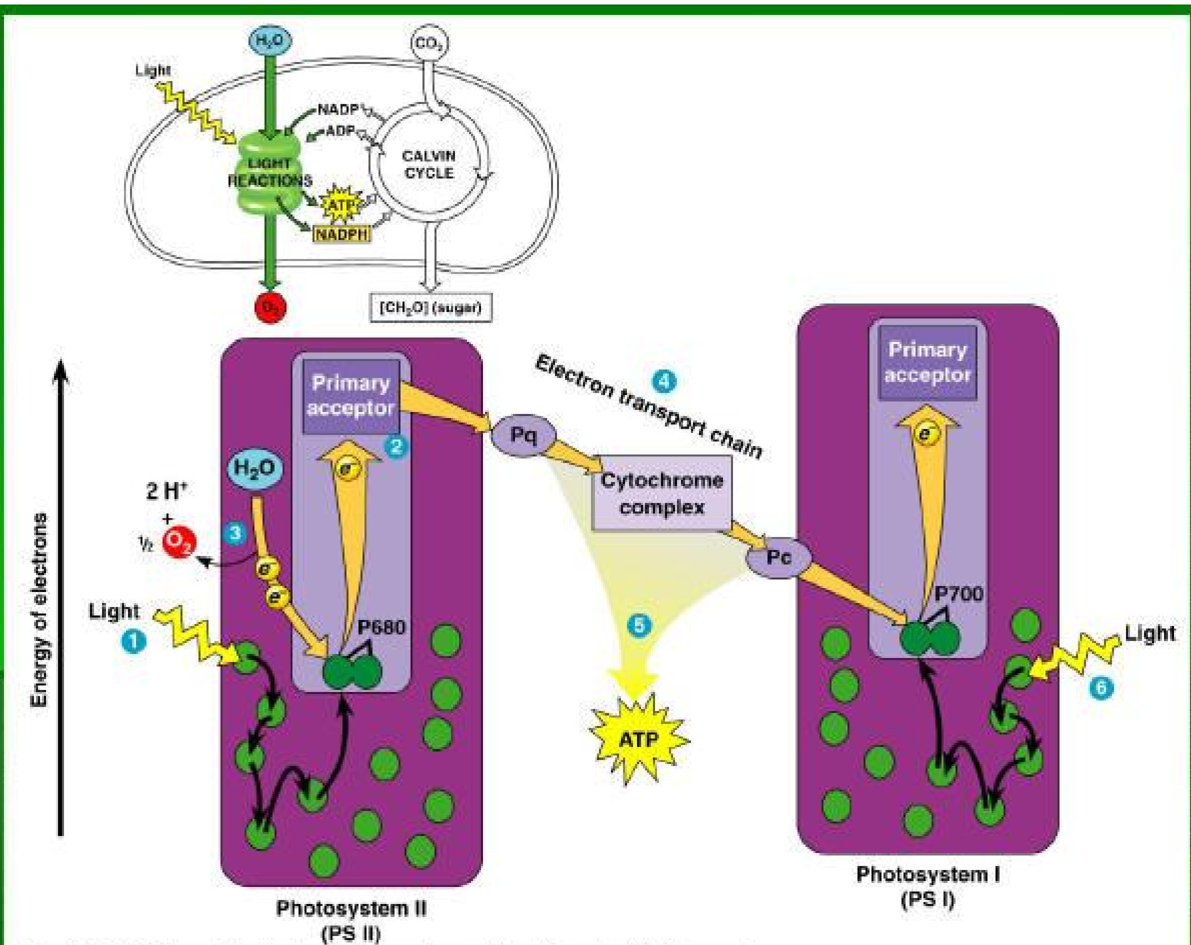
*** تفاعلات كيميوضوئية يكون مقرها التيلاكوئيد أين يتم تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية.**

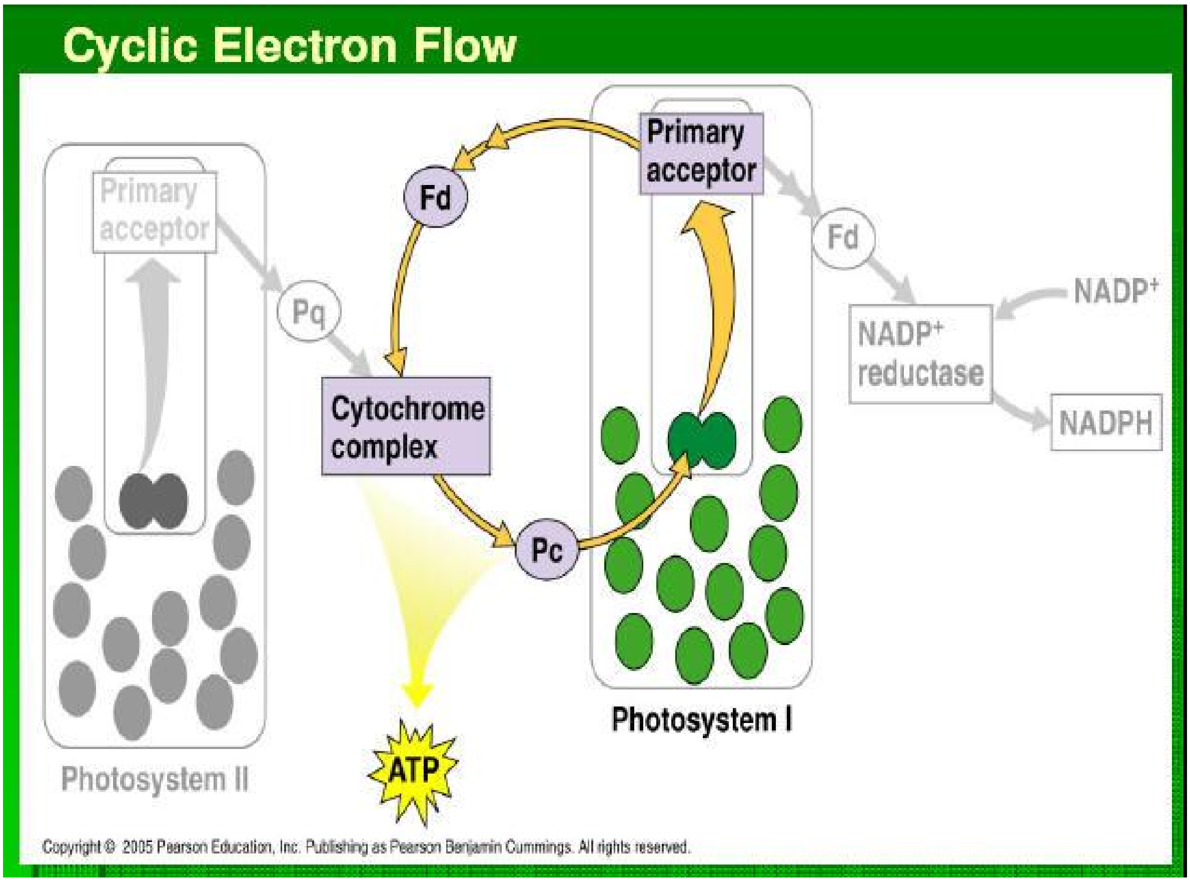
*** تفاعلات كيميوحيوية يكون مقرها الحشوة أين يتم إرجاع ال CO_2 إلى كربون عضوي بإيتعمال الطاقة الكيميائية (ATPو $NADPH,H^+$) الناتجة من المرحلة السابقة.**

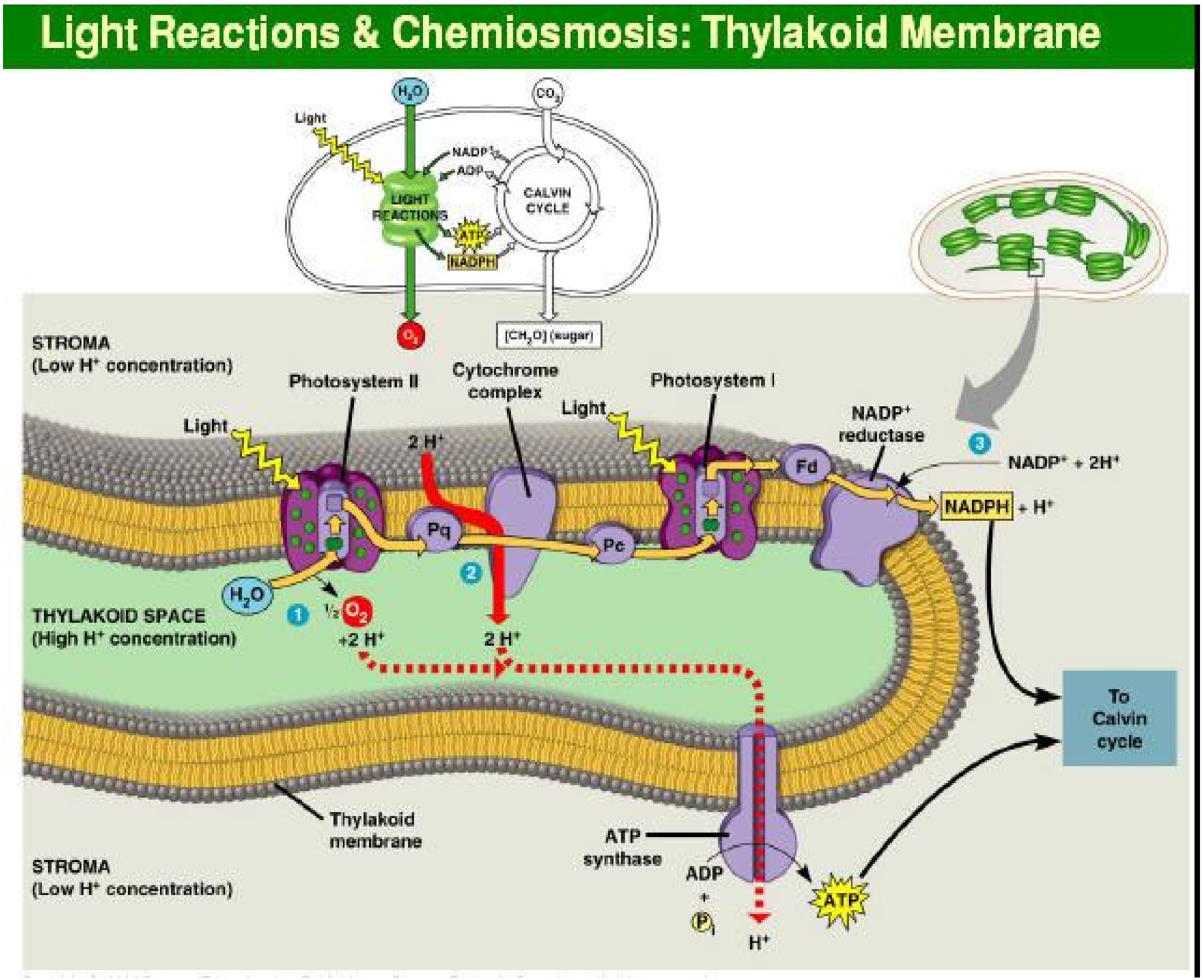


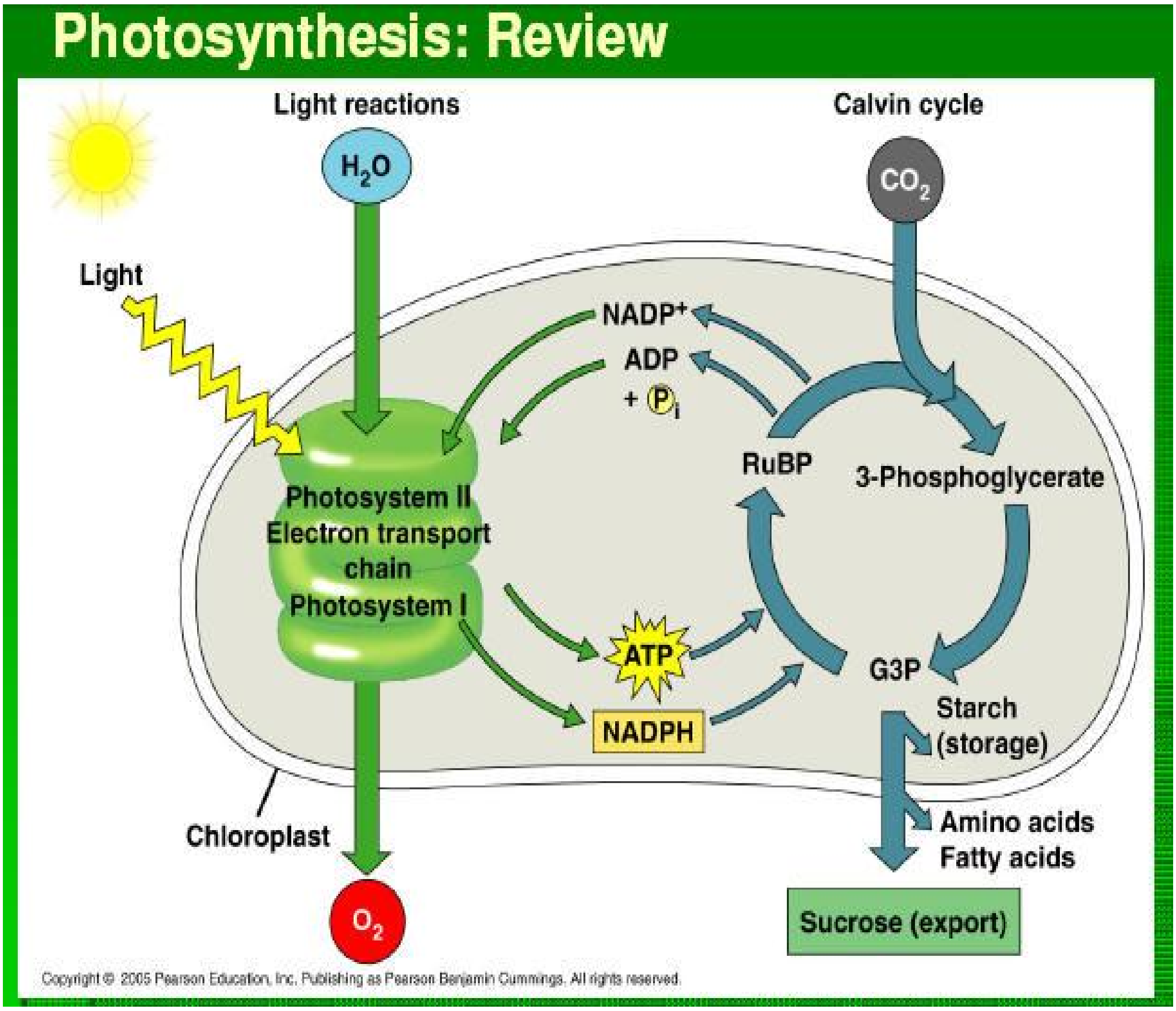
ملحق للصور الاجنبية






Cyclic Electron Flow
Primary acceptor
Pq
Fd
Cytochrome complex
Pc
Primary acceptor
Fd
NADP+
NADP+ reductase
NADPH
Photosystem II
ATP
Photosystem I
Copyright © 2005 Pearson Education, Inc. Publishing as Pearson Benjamin Cummings. All rights reserved.


Light Reactions & Chemiosmosis: Thylakoid Membrane
STROMA
(Low H+ concentration)
Photosystem II
Cytochrome complex
Photosystem I
Light
2 H+
Light
NADP+ reductase
Fd
NADP+ + 2H+
Pq
Pc
NADPH + H+
H2O
THYLAKOID SPACE
(High H+ concentration)
1/2 O2
+2 H+
2 H+
To Calvin cycle
Thylakoid membrane
ATP synthase
STROMA
(Low H+ concentration)
ADP
+
Pi
ATP
H+


Photosynthesis: Review
Light reactions
Calvin cycle
H_2O
CO_2
Light
$NADP^+$
ADP
+ P_i
RuBP
3-Phosphoglycerate
Photosystem II
Electron transport
chain
Photosystem I
ATP
NADPH
G3P
Starch
(storage)
Amino acids
Fatty acids
Chloroplast
O_2
Sucrose (export)
Copyright © 2005 Pearson Education, Inc. Publishing as Pearson Benjamin Cummings. All rights reserved.